

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01415

研究課題名(和文)脳科学的・運動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開発

研究課題名(英文)Development of the Neurological and Kinematic Evidence Based Hand Therapy depending on the Dominant or Non-dominant Hand

研究代表者

砂川 融 (SUNAGAWA, Toru)

広島大学・医歯薬保健学研究科(保)・教授

研究者番号：40335675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：脳科学的研究の結果、運動イメージは手の運動パフォーマンス向上に正の影響を与え、提示方法を工夫する事でより有効である可能性が示唆された。tDCSは手の運動パフォーマンス、運動イメージ能力向上に正の影響を与え、手の感覚障害の治療に応用できる可能性が示唆された。運動学的解析では利き手と非利き手では動作中の手掌アーチ運動に違いがあり、利き手では手全体の協調性に着目したリハビリテーションが、非利き手では母指を重点的にリハビリテーションの対象とする事が手の機能を改善するためには重要である事が示唆された。手指の中では環指PIP関節運動の改善を重点的に回復させる事で手の機能の改善が得られる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：As results of brain research, the motor image had a positive effect on performance improvement of the hand, and the possibility that devising a presentation method influenced the results. tDCS had a positive effect on motor performance of the hand, ability for exercise image improvement, and the possibility that we could apply to treatment of the sensory disturbance was suggested.

As results of kinematic analysis, palm arch motion was different depending on the handedness. It was suggested that the rehabilitation that paid its attention to the cooperation of the whole hand in the dominant hand, and to the thumb in the nondominant hand. The possibility that the improvement of the function of the hand was obtained by recovering the restore of the proximal interphalangeal joint motion chiefly of the ring finger was suggested.

研究分野：整形外科学

キーワード：リハビリテーション 利き手 脳科学 運動学 BMI 経頭蓋直流電気刺激

## 1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの障害四肢に対するリハビリテーションでは、経験に基づいた理論的根拠が少ない、あるいはない方法が、また上肢に限れば利き手と非利き手を考慮しない方法が漫然と行なわれ、完全社会復帰まで半年以上必要であったり、あるいは後遺症を遺残している。また、患者によってはリハビリテーションが進行せずに良好な機能回復が得られず(効果に個人差が大きい)そのとき患者は意思通りに患側上肢が動かせないことを訴える事があり、これは運動中枢である大脳活動の異常が関与していることは明らかであるが、手のリハビリテーションを脳科学の側面から捉えた報告はない。

(2) 一方、脳血管障害に対するリハビリテーションとして手の運動や感覚刺激あるいは低侵襲直接脳刺激として経頭蓋磁気又は直流電気刺激を併用したり、視覚刺激として運動イメージを応用し、その有効性の報告が散見されるようになったが、その反対、つまり手のリハビリテーションに対して、脳にアプローチした基礎的あるいは臨床的報告はない。

(3) 手の動作解析についてはいくつかの報告があるが、利き手と非利き手の違いを主眼に置いた報告はない。

## 2. 研究の目的

(1) これまでに報告のない理論的(脳科学的、運動学的)根拠があり、かつ、利き手・非利き手別のより効果的なリハビリテーションプログラムを構築すること。

(2) 運動学的手法(三次元動作解析)により、詳細に日常生活活動を中心に利き手と非利き手の動作の違いとその時の脳活動の特徴を明らかにし、手のリハビリテーションを行う上での重要点を明らかにすること。

(3) 運動イメージあるいは経頭蓋直流電気刺激という手法を用いて脳にアプローチすることで、手の機能の変化を明らかにし、手のリハビリテーションに対する応用の可能性を調査すること。

## 3. 研究の方法

### (1) 脳科学的アプローチ

右利き健常成人を対象に、手指単純運動による能動的な脳活性化と経頭蓋直流電気刺激(tDCS)による受動的な脳活性化をそれぞれ行い、運動課題中の大脳運動野の活動と運動パフォーマンスの変化を比較検討した。映像観察による運動イメージが運動パフォーマンスに与える影響を調査する目的で、健常成人を対象にへら玉運動の異なる方向、あるいは異なる速度での映像を提示し、実際にへら玉運動を行わせた。

体性感覚野に対する tDCS が手指感覚に与える影響を調査するために、健常成人を対象に刺激前後で母指と小指の感覚を定量的に評価した。

認知能力と上肢の運動との関連を調査する

ために、健常成人に三軸加速度計を一週間常時装着し、日常生活活動、特に上肢の活動量と前頭葉機能の関連を調査した。

### (2) 運動学的アプローチ

異なる大きさの球体を把持する際の手のアーチ形成の推移と手関節運動、並びに手内筋の活動の関連について健常右利き成人 20 人を対象に調査した。

異なる大きさ・重さの物体把持時の手掌のアーチ角度変化と手内在筋筋活動の関連について三次元動作解析並びに筋電図学的に健常成人を対象にその特徴を検討した。

利き手と非利き手の役割の違いを検討するために、日常生活動作中の利き手と非利き手の活動量の違いを加速度計を使用して検討した。また、日常生活での利き手、非利き手の使用頻度の偏りが上肢の運動機能に与える影響を調査した。

健常成人を対象に、大きさの異なる球体把持動作中の手掌アーチの運動を利き手と非利き手で比較し、利き手と非利き手の特徴を調査した。

手の重要な機能である把持動作中の母指の各々の関節運動の役割を明らかにするために、健常成人を対象に 7 種類の把持つまみ動作中の母指の各関節運動を計測し、主成分分析を行った。

手掌内でのボール回し運動をリハビリテーションで応用するために、手掌内でのボール回し運動を大きさの異なるボールで行い、ボールの大きさが手指の運動に与える影響について調査した。

手指の関節の中でどの関節が最もリハビリテーションのターゲットとして重要かを明らかにするために、13 種類の把持動作で動作解析を行い手指屈曲角度を比較した。また、関節固定が握力にどの程度影響するかについても調査した。

## 4. 研究成果

### (1) 脳科学的アプローチ

利き手では、受動的活性化により運動課題中の対側運動野の活動は増大傾向にあり、運動パフォーマンスは有意に向上した。tDCS による対側運動野の活性化効果は個人差を認めた。非利き手では、能動的および受動的な脳活性化による運動課題中の対側運動野の活動および運動パフォーマンスに有意な変化は認められず、運動野の活性化を行わなかった対照条件(単純な動作の繰り返し)において運動パフォーマンスが有意に向上した。

映像の再生速度は半分以下の遅いほうが、映像提示方向は一人称同側が有意にパフォーマンスの向上に寄与し、同側映像観察時に fNIRS で計測した大脳運動野の活動は更新する傾向を認めた。運動中の脳活動は同側映像観察後で有意に減少する傾向を認め、これは利き手での動作と非利き手での動作いずれでも同様の結果であった。

tDCS の anodal 刺激後には cathodal 刺激後

より有意に知覚閾値は低下したが、sham 刺激とは有意差を認めなかった。

上肢の活動量が多いものは左右半球の活性化が均等であり、少ないものは右半球がより賦活化されていた。

#### (2)運動学的アプローチ

物体を把持する際には運動初期に物体の大きさに合わせてアーチ形成がほぼ完了し、非利き手では有意に手関節背屈運動が誘発されること、そして把持直前に筋活動が最大となることが判明した。

大きさに対して手掌では、母指アーチ角度の変化により対応し、重さに対しては母指球筋の筋活動の変化により物体把持に対応していることが判明した。

両手動作でも利き手が有意に活動量が多く、主動作手を反対にした際には活動の種類により上腕、あるいは前腕、またはその両方の筋活動量に変化が出現し、活動の種類により代償のパターンが異なることが判明した。また、単純課題では使用頻度の偏りと上肢機能の左右差には正の相関を認めたと、巧緻性が要求される課題では相関がなく、手の使用頻度の偏りは単純動作でのみ上肢機能の左右差と関連していることが判明した。

利き手では母指と小指で形成されるアーチが協調性をもって重要な役割を果たしていたが、非利き手では協調性はなく主に母指の動きで動作を行っていた。

CM 関節外転、MP 関節回内、MP 関節屈曲、IP 関節屈曲が第 1 主成分で、外在筋と内在筋協調が必要で重要であることが判明した。

ボールは手掌幅に近い大きさのものを使用すると手指の円滑な動作が可能で、小さくすると手指の屈曲運動を促進させることが判明した。

多くの把持動作で関節可動域は中指、環指 PIP 関節が有意に大きく、また隣接関節屈曲と強い相関を認めた。また、環指 PIP 関節を固定すると他の関節の固定と比較し有意に握力が低下 (40%減) し、把持動作に最も負の影響を与えることが判明した。

#### (3)総括

運動イメージは手の運動パフォーマンス、運動イメージ能力向上に正の影響を与え、提示方法を工夫する事でより有効である可能性が示唆された。

tDCS は手の運動パフォーマンス、運動イメージ能力向上に正の影響を与え、手の感覚障害の治療に応用できる可能性が示唆された。

利き手と非利き手では動作中の手掌アーチ運動に違いがあり、利き手では手全体の協調性に着目したりハビリテーションが、非利き手では母指を重点的にリハビリテーションの対象とする事が手の機能を改善するためには重要である事が示唆された。

手指の中では環指 PIP 関節運動の改善を重点的に回復させる事で手の機能の改善が得られる可能性が示唆された。

#### 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 14 件)

1. Nakanishi K, Watanabe T, Sunagawa T, et al. Mirror imaging of finger mechanical stimulation affects secondary somatosensory response. *Neuroreport* 2018; 29: 229-34. 査読有
2. Yoshizuka M, Sunagawa T, Nakashima Y, et al. Comparison of sonography and MRI in the evaluation of stability of capitellar osteochondritis dissecans. *J Clin Ultrasound* 2018; 46: 247-52. 査読有
3. Sunagawa T, Nakashima Y, Shinomiya R, Kurumadani H, Adachi N, Ochi M. Correlation between "hourglass-like fascicular constriction" and idiopathic anterior interosseous nerve palsy. *Muscle Nerve* 2017; 55: 508-12. 査読有
4. Yoshimura N, Kambara H, Koike Y, et al. Decoding finger movement in humans using synergy of EEG cortical current signals. *Scientific Reports* 2017; 7: 11382. 査読有
5. Kawase T, Koike Y, et al. Controlling an electromyography-based power-assist device for the wrist using electroencephalography. *Advanced Robotics* 2017; 31: 88-96. 査読有
6. Shinomiya R, Sunagawa T, Nakashima Y, Yoshizuka M, Adachi N. Impact of Corticosteroid Injection Site on the Treatment Success Rate of Trigger Finger: A Prospective Study Comparing Ultrasound-Guided True Intra-sheath and True Extra-sheath Injections. *Ultrasound Med Bio* 2016; ePub ahead, DOI 0.1016/j.ultrasmedbio.2016.05.015 査読有
7. Sunagawa T, Nakashima Y, Shinomiya R. Spontaneous recovery of a case with suspected hourglass-like fascicular constriction and anterior interosseous nerve palsy. *J Hand Surg, European volume* 2016; 41: 886-7. 査読有
8. Shinomiya R, Sunagawa T, Nakashima Y, Kawanishi Y, Masuda T, Ochi M. Comparative study on the effectiveness of corticosteroid injections between trigger fingers with and without proximal interphalangeal joint flexion contracture. *J Hand Surg, European volume* 2016; 41: 198-203. 査読有

9. Minati L, Yoshimura N, Koike Y, Hybrid control of a vision-guided robot arm by EOG, EMG, EEG biosignals and head movement acquired via a consumer-grade wearable device, *IEEE Access* 2016; 4: 9528-9541. 査読有
  10. Jimura K, Koike Y, et al. Relatedness-dependent rapid development of brain activity in anterior temporal cortex during pair-association retrieval, *Neurosci Lett.* 2016;3[627]: 24-29. 査読有
  11. Jimura K, Hirose S, Koike Y, et al. Data for behavioral results and brain regions showing a time effect during pair-association retrieval. *Data Brief* 2016; 6[8]: 891-893. 査読有
  12. Yoshimura N, Nishimoto A, Koike Y, et al. Decoding of covert vowel articulation using electroencephalography cortical currents, *Frontiers in Neuroscience* 2016; 10[175]: 1-15. 査読有
  13. Zintus-art K, Shin D, Kambara H, Yoshimura N, Koike Y. Individualistic weight perception from motion on a slope. *Scientific Reports* 2016; 6:25432. 査読有
  14. Date S, Kurumadani H, Watanabe T, Sunagawa T. Transcranial direct current stimulation can enhance ability in motor imagery tasks. *Neuroreport* 2015; 26: 613-7. 査読有
- 〔学会発表〕(計 19 件)
1. 車谷 洋, 砂川 融. 手と脳, 手のうごき(招待講演), 第 5 回中部ハンドセラピー研究会, 名古屋市, 2018.1.28.
  2. 車谷 洋, 桑原 涉, 石井陽介, 砂川 融: 手掌アーチの変化と手掌の形状変化との関連 第 44 回日本臨床バイオメカニクス学会, 松山市, 2017.11.24.
  3. Liang HY, Kurumadani H, Sunagawa T. Effects of gender and hand size on the distal transverse palmar arch during reach-to-grasp task. XXVI Congress of the International Society of Biomechanics, Brisbane, Australia, 23-27 July 2017.
  4. Ueda A, Kurumadani H, Suefuji N, Sunagawa T. Differences of hand and arm movements with dominant and non-dominant hand during daily activities. XXVI Congress of the International Society of Biomechanics, Brisbane, Australia, 23-27 July 2017.
  5. Kurumadani H, Shinomiya M, Kobayashi N, Sunagawa T, Fukatsu R. Walking speed influences on gait characteristics in adults with autism spectrum disorder. XXVI Congress of the International Society of Biomechanics, Brisbane, Australia, 23-27 July 2017.
  6. Ishii Y, Kurumadani H, Sunagawa T, et al. Relationship between medial meniscus extrusion and lateral thrust with medial knee osteoarthritis. XXVI Congress of the International Society of Biomechanics, Brisbane, Australia, 23-27 July 2017.
  7. Kuwahara W, Nakanishi K, Kurumadani H, Sunagawa T. Impact of spinal and pelvic movements during gait on low back and leg pain before and after gait loading test in lumbar spinal stenosis patients. XXVI Congress of the International Society of Biomechanics, Brisbane, Australia, 23-27 July 2017.
  8. 車谷 洋, 砂川 融. 術後の障害再発と二次障害予防に留意したリハビリテーション(シンポジウム). 第 60 回日本手外科学会学術集会, 名古屋市, 2017.4.28.
  9. Kurumadani H, Okajo M, Sunagawa T. Relationship between the transverse palmar arch in the hand and the intrinsic hand muscles during reach-to-grasp motion for an object of different size. The XXI International Society of Electrophysiology and Kinesiology Congress, Chicago, Illinois, July 5-8, 2016.
  10. Ueda A, Kurumadani H, Sunagawa T. Performance and brain activation during slow speed and anatomical motion movie observation. The XXI International Society of Electrophysiology and Kinesiology Congress, Chicago, Illinois, July 5-8, 2016.
  11. 車谷 洋, 二階堂理沙, 砂川 融. 大きさの異なる物体把持中の手の遠位横アーチの特徴 -アーチの左右差、手関節運動との関連 第 10 回日本作業療法研究学会学術集会, 新潟市, 2016.05.21-22.
  12. 上田章雄, 車谷 洋, 大西悠介, 砂川 融. 同側もしくは鏡像の映像を用いた運動観察が非利き手での運動学習に与える影響 -運動パフォーマンスと脳活動の検討-. 第 9 回日本作業療法研究学会学術集会, 横須賀市, 2015.10.24-25.
  13. 伊達翔太, 車谷 洋, 渡辺友志, 林 淳二, 砂川 融. 整形外科疾患患者における運動イメージ能力の評価. 第 9 回日本作業療法研究学会学術集会, 横須賀市, 2015.10.24-25.
  14. Date S, Kurumadani H, Watanabe T, Sunagawa T. The Evaluation of Motor Imagery Ability in Orthopedic Patients. The 6th Asia-Pacific Occupational

- Therapy Congress, September 14-17,2015. Rotorua, New Zealand,
15. Kurumadani H, Ueda A, Kawakami T, Sunagawa T. Comparisons of the hand motor area activation during simple and sequential tasks with multi-finger movement. The 6th Asia-Pacific Occupational Therapy Congress, September 14-17,2015. Rotorua, New Zealand.
  16. Ueda A, Kurumadani H, Onishi Y, Sunagawa T. Performance difference after action observation from different perspectives. The 6th Asia-Pacific Occupational Therapy Congress, September 14-17,2015. Rotorua, New Zealand.
  17. 砂川 融. シンポジウム 手と脳 .経頭蓋直流電気刺激が一次体性感覚野へ与える影響.第 59 回日本手外科学会,広島市, 2015.4.25.
  18. Sunagawa T. (Invited Lecture) Hand Biomechanics and Its Interaction with the Brain. Continuing Orthopaedic Education, Indonesian Orthopaedic Association. April 20-25, 2015 . Surabaya, Indonesia.
  19. Sunagawa T. (Invited Lecture) The Pedicled Vascularized Bone Graft for the Carpal Necrotic Lesion. Continuing Orthopaedic Education, Indonesian Orthopaedic Association. April 20-25, 2015 . Surabaya, Indonesia.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

砂川 融 (SUNAGAWA, Toru)

広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・教授  
研究者番号：4 0 3 3 5 6 7 5

### (2)研究分担者

小池 康晴 (KOIKE, Yasuharu)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授  
研究者番号：1 0 3 0 2 9 7 8

車谷 洋 (KURUMADANI, Hiroshi)

広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・講師  
研究者番号：0 0 3 3 5 6 4 7

中西 一義 (NAKANISHI, Kazuyoshi)

広島大学・病院・講師  
研究者番号：6 0 4 0 3 5 5 7