

## 背外側前頭前野への経頭蓋ランダムノイズ刺激が触覚方位弁別能力にもたらす効果

○齊藤 慧<sup>1,2)</sup>, 大鶴 直史<sup>1,2)</sup>, 小池 康太郎<sup>1)</sup>, 竹内 皓太<sup>1)</sup>, 大西 秀明<sup>1,2)</sup>

- 1) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部  
2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所

### 【目的】

背外側前頭前野 (DLPFC) は物体の形状などを手指で識別するとき活動している。そのため、左DLPFCの活動を増大させることで手指の識別能力は向上すると考えられるが、十分に検証されていない。大脳皮質の活動を高める方法に経頭蓋ランダムノイズ刺激 (tRNS) があり、非侵襲的に皮質領域の神経活動を増大させることができる。そのため、左DLPFCに対してtRNSを与えることで手指の空間識別能力が変調できる可能性がある。さらに、経頭蓋電気刺激が感覚機能にもたらす効果は刺激前の感覚機能に依存しており、刺激前の感覚機能が低いほうが刺激効果は高くなることがわかっている。そのため、左DLPFCに対するtRNSが触覚機能にもたらす効果も刺激前の触覚機能が低いほうが高くなると考える。本研究では、tRNSを左DLPFCに与えたときの触覚方位弁別能力の変化を検証した。

### 【方法】

対象は右利き健常成人男性20名とし、刺激前の触覚機能によって低成績群 (10名) と高成績群 (10名) の2群に分けた。tRNSの刺激電極 (5cm×5cm) は国際10-20法におけるF3と左肩に貼付した。刺激周波数は0.1-640 Hz、刺激強度は0.7 mA、刺激時間は10分とし、刺激条件は①tRNSと②sham刺激の2条件とした。触覚機能の評価として、触覚方位弁別課題 (GOT) を刺激前後、刺激後30分に実施した。GOTでは8種類の異なる幅が刻まれたドーム状の機器を対象者の右手指に押し当て、その縞の方位を回答させた。それらの正答率から75%の確率で正答できる刺激幅 (弁別閾値) を算出した。統計解析として、各群における刺激前後の弁別閾値を比較するために一元配置分散分析を実施し、事後検定としてBonferroni法を用いた。有意水準はいずれも5%とした。

### 【結果】

tRNSでは低成績群において、刺激前の弁別閾値が $1.53 \pm 0.22$  mm、刺激直後が $1.26 \pm 0.20$  mm、刺激後30分が $1.23 \pm 0.22$  mmであり、刺激直後および刺激後30分に弁別閾値が有意に低下した。一方、高成績群では刺激前の弁別閾値が $0.94 \pm 0.17$  mm、刺激直後が $0.97 \pm 0.17$  mm、刺激後30分が $1.08 \pm 0.40$  mmであり、有意な変化を認めなかった。また、sham刺激では低成績群において、刺激前の弁別閾値が $1.58 \pm 0.26$  mm、刺激直後が $1.55 \pm 0.26$  mm、刺激後30分が $1.32 \pm 0.23$  mm、高成績群では刺激前の弁別閾値が $0.91 \pm 0.16$  mm、刺激直後が $1.06 \pm 0.35$  mm、刺激後30分が $1.10 \pm 0.24$  mmであり、有意な変化を認めなかった。

### 【考察】

左DLPFCに対してtRNSを与えることで低成績群の右手指の触覚方位弁別能力が向上した。tRNSには皮質領域の神経活動を増大する効果があることから、左DLPFCの神経活動が手指の空間識別能力に関与していると考えられる。

### 【結語】

触覚方位弁別能力が低い対象者の左DLPFCに対してtRNSを与えることで右手指の触覚方位弁別能力が向上する。

### 【倫理的配慮】

本研究は、発表者が所属する施設の研究倫理委員会 (承認番号: 18782-211208) の承認を得て実施した。

## 背外側前頭前野に対する経頭蓋交流電流刺激による鎮痛効果 - 電界シミュレーションによる検討 -

○五十嵐 眸実<sup>1,2)</sup>, 大鶴 直史<sup>2)</sup>, 長坂 和明<sup>2)</sup>, 宮口 翔太<sup>2)</sup>, Jose Gomez Tames<sup>3)</sup>, 平田 晃正<sup>3)</sup>, 大西 秀明<sup>2)</sup>

- 1) 新潟医療福祉大学大学院 医療福祉学専攻  
2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所  
3) 名古屋工業大学大学院 工学研究科 電気・機械工学専攻

### 【目的】

先行研究では、背外側前頭前野 (DLPFC) で生じるtheta及びbeta帯域活動が慢性疼痛患者で増大していることが示されている。しかしながら、thetaおよびbeta帯域活動の痛みにおける機能的意義は不明な点が多い。そこで本研究では、脳内の特定の周波数帯域活動を人為的に変調させることが可能な経頭蓋交流電流刺激 (tACS) を用い、thetaおよびbeta帯域でDLPFCを刺激することにより、痛み知覚を変調できるかを検証した。さらに、脳内電界シミュレーション技術を用い、脳内に生じた電界と痛み知覚の変調の間にある関連を検討した。

### 【方法】

対象は健常成人60名とした (年齢 $21.18 \pm 0.99$ )。tACS刺激条件は、theta, beta, 疑似刺激条件とした。電極配置は国際10-20法に基づきF3とFpzとし、3cm×3cmの電極を使用し、刺激強度は1mAとした。脳内で生じる電界と鎮痛効果の関係を調べるため、各被験者のMRI構造画像から容積伝導モデルを作製し、tACS時に左DLPFCで生じる電界をシミュレーションした。痛みの評価は、熱刺激装置を用い、右手首において35℃から毎秒0.7℃で温度を上昇させ、痛みを知覚した温度を熱痛閾値とした。熱痛閾値の測定は、各条件のtACS刺激前、中、後に実施した。各条件において、tACSによる熱痛閾値の変化 (鎮痛効果) を検討するため、混合計画二元配置分散分析を用いた。その後、各条件間の刺激中および刺激後の鎮痛効果をBonferroni補正による対応のない検定で検討した。さらに鎮痛効果とシミュレーションによって得られた電界の関連について、線形および二次回帰分析を用いた。有意水準は5%とした。

### 【結果】

各条件における熱痛閾値変化に有意な交互作用を認め ( $p = 0.006$ )、疑似刺激条件と比較し、theta刺激条件においてはtACS刺激中および刺激後に、beta刺激条件においては刺激後に熱痛閾値が有意に上昇していた (それぞれ  $p = 0.006$ ,  $p = 0.027$ ,  $p = 0.003$ )。さらに、回帰分析の結果、theta帯域刺激における、刺激中および刺激後の鎮痛効果はシミュレーションで得られた電界強度と有意な逆U字の相関を認めた ( $p < 0.05$ )。

### 【考察】

DLPFCに対するtheta, beta帯域のtACSは鎮痛効果を有することが示された。さらに、theta帯域のtACSによって得られる鎮痛効果と電界強度には逆U字の相関関係があることが示された。このことは、theta帯域tACSによって鎮痛効果を得るための至適な電界、刺激部位がある可能性を示唆するものである。

### 【結語】

左DLPFCに対するthetaおよびbeta帯域のtACSは鎮痛効果をもたらす。特にtheta帯域tACS時の鎮痛効果と電界の関係は、非線形であることが示された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、所属機関の倫理委員会の承認 (18661-210625) を得て行った。また、対象者には、書面および口頭にて実験内容に関する説明を十分に実施し行った。



## 脳卒中および脊髄損傷患者の下肢機能に対するロボット歩行トレーニングと非侵襲的脳刺激の併用効果－システムティックレビューとメタアナリシスによる検討－

○桑原 渉<sup>1,2)</sup>, 佐々木 駿<sup>1,3)</sup>, 山本 理恵子<sup>1,4)</sup>, 岡和田 愛実<sup>1,2,5)</sup>, 棚町 兼也<sup>1,2)</sup>, 川上 途行<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>1,2)</sup>

- 1) 慶應義塾大学 医学部リハビリテーション医学教室
- 2) 東京都立大学 人間健康科学研究科理学療法科学域
- 3) 株式会社ARCE 健康予防事業部UP Life
- 4) 横浜国立大学 環境情報学府人工環境専攻
- 5) 神奈川県立保健福祉大学大学院 保健福祉学研究所

### 【目的】

過去のシステムティックレビューにおいて、脳卒中および脊髄損傷のような中枢神経疾患患者に対して、ロボット歩行トレーニング(RAGT)または非侵襲的脳刺激(NIBS)を実施することにより、下肢運動機能が改善することが報告されている。中枢神経疾患患者の下肢運動機能の改善に対して、RAGTとNIBSの併用はRAGTと偽刺激の併用よりも有効であるかどうかを明らかにすることを目的として、メタアナリシスによるシステムティックレビューを実施した。

### 【方法】

PubMed, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Ovid MEDLINE, Web of Scienceを用いて、無作為化比較試験(RCT)を検索した。2名のレビュアーが独立して論文のスクリーニング、データ抽出を実施した。中枢神経疾患患者の下肢身体機能(脳卒中患者に対するFugl-Meyer Assessmentなど)および活動(歩行速度)に対して、RAGTと経頭蓋直流電気刺激(tDCS)や反復経頭蓋磁気刺激(rTMS)などのNIBSの併用と、RAGTと偽刺激の併用との効果の差を評価した。RevMan 5.4 (The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Denmark)を用いてメタアナリシスを実施した。疾患(脳卒中 vs. 脊髄損傷)およびNIBSの種類(tDCS vs. rTMS)による差を検証するために、サブグループ解析を行った。

### 【結果】

5つの研究(104名)がメタアナリシスに取り込まれた。RAGTとNIBSの併用は、RAGTと偽刺激の併用と比較し、中枢神経疾患患者の下肢身体機能に対する効果は有意に高かったが(標準化平均差(SMD)=0.52; 95%信頼区間(CI)=0.06-0.99)、歩行速度に対する効果については有意な差はなかった(SMD=-0.13; 95%CI=-0.63-0.38)。サブグループ解析の結果、RAGTとtDCSの併用については、RAGTと偽刺激の併用と比較し、下肢身体機能および歩行速度両方の効果に対して有意な差がなかった。また、疾患やNIBSの種類による有意差は認められなかった。

### 【考察】

運動療法とNIBSの併用は、皮質脊髄路病変を有する患者において、神経機能の促進効果をもたらすことが報告されており、本研究の下肢身体機能に対する有意な効果は同様の改善機序を示唆している。一方で、RAGTとtDCSの併用については効果が限定的であることが明らかとなり、RAGTとrTMSおよび、経頭蓋交流電気刺激や経頭蓋ランダムノイズ刺激などの新たなNIBSアルゴリズムとの併用についてのさらなる研究が望まれる。

### 【結語】

RAGTとNIBSの併用が中枢神経疾患患者に対して有効であることが示されたが、この結果はNIBSの中にrTMSも含まれた結果である。RAGTとtDCSのみに着目すると、RAGTと偽刺激の併用と比較し、下肢の身体機能および活動の改善に対して有効性は示されなかった。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究のレビュープロトコルは、Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysesの記述に従って作成された。

## 小脳への経頭蓋ランダムノイズ刺激が運動学習および脳活動に及ぼす影響

○川上 紗輝<sup>1,2,3)</sup>, 犬飼 康人<sup>2,4)</sup>, 五十嵐 眸実<sup>1,2)</sup>, 神居 寧<sup>2,5)</sup>, 宮口 翔太<sup>2,4)</sup>, 大鶴 直史<sup>2,4)</sup>, 大西 秀明<sup>2,4)</sup>

- 1) 新潟医療福祉大学大学院 医療福祉学専攻
- 2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所
- 3) 新潟リハビリテーション病院 リハビリテーション科
- 4) 新潟医療福祉大学 ハビリテーション学部 理学療法学科
- 5) 新潟医療福祉大学大学院 保健学専攻 理学療法学分野

### 【目的】

経頭蓋ランダムノイズ刺激(tRNS)は、皮質の興奮性を変調させることが可能な非侵襲的脳刺激法である。これまで我々は、小脳へのtRNSが運動学習に関与する小脳抑制(CBI)および一次運動野(M1)の興奮性に及ぼす影響について検討し、CBIが减弱した被験者ほど対側M1興奮性が増大する関係性を認めた(Kawakami et al., 2022)。しかしながら、小脳へのtRNSにより誘導される脳活動の変化と運動学習の関連性は不明である。本研究の目的は、小脳へのtRNS後のCBIやM1興奮性変化が運動学習に及ぼす影響と関連性を検討することとした。

### 【方法】

対象は健康成人34名(21.7±1.0歳)とし、tRNS群と偽刺激群に振り分けた。tRNSの電極貼付位置は右小脳と右頬筋とし、強度は1 mA、周波数は0.1-640 Hzとした。課題には右示指の外転張力による視覚追従課題を用い、課題中のターゲットとのずれ量を算出した。課題前評価を1回実施した後に、tRNSまたは偽刺激介入下で課題を計20回(前半:10回、後半:10回)実施した。M1興奮性およびCBIは、課題前、課題前半終了時、課題後半終了時に経頭蓋磁気刺激を用いて評価した。M1興奮性は、左M1を刺激した際に右第一背側骨間筋より得られる運動誘発電位(MEP)を用いて評価した。CBIは、左M1への試験刺激に先行して右小脳に条件刺激を与える条件-試験刺激法を用い、試験刺激単独のMEPに対する、条件-試験刺激で得られたMEPの割合として算出した。統計解析として、課題前半・課題後半・課題全体におけるずれ量の変化を学習量とし、群間差について対応のない検定を行った。また、MEPおよびCBIの変化量と学習量の関連性についてPearsonの積率相関係数を用いて検討した。有意水準は5%とした。

### 【結果】

tRNS群と偽刺激群の学習量は、有意差を認めなかった( $p>0.05$ )。脳活動の変化と学習量の関係について、tRNS群ではMEPの変化と課題全体の学習量の間にも負の相関を認めた( $r=-0.504, p=0.039$ )。一方で、偽刺激群では有意な相関を認めなかった( $p>0.05$ )。CBIの変化と学習量の関係については、いずれの群においても有意な相関は認めなかった。

### 【考察】

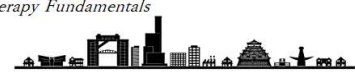
本研究では、小脳へのtRNSは運動学習量に影響を及ぼさなかった。しかしながら、tRNS群では、M1興奮性が減少した被験者ほど課題全体の学習量が増大したことから、tRNSによるM1興奮性の変化は、運動学習の程度と関連する可能性が考えられる。一方で、CBIの変化は学習量に影響を与えない可能性が示唆された。

### 【結語】

小脳へのtRNSは運動学習に影響を及ぼさないことが明らかとなった。また、tRNSに誘導されるM1興奮性の変化と学習量は関連するが、CBIの変化と学習量は関連しないことが示唆された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、所属大学の倫理委員会で承認(18509-201006)を得た。また、対象者には実験に関する説明を書面および口頭にて十分に行い、同意を得た。



## 経皮的迷走神経刺激 (tVNS) が月経周期における自律神経活動変化に及ぼす影響

○杉本 柚華<sup>1)</sup>, 横田 裕丈<sup>1,2)</sup>, 高杉 梨紗<sup>1)</sup>, 殿広 亜未<sup>1)</sup>, 山内 勇平<sup>1)</sup>, 平林 怜<sup>1,2)</sup>, 関根 千恵<sup>1,2)</sup>, 江玉 睦明<sup>1,2)</sup>

- 1) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部  
2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所

### 【目的】

女性の月経周期において、異なる女性ホルモンの働きによって自律神経活動が変動することが知られており、月経随伴症状における不安や抑うつといった精神症状、および腹痛や頭痛などの身体症状との関連が指摘されている。この自律神経活動を外的に変調させる手法として、経皮的迷走神経刺激 (tVNS)が近年注目されており、うつ症状や片頭痛の改善が得られることが報告されている。しかし、その効果が月経周期により異なるかは不明である。そこで本研究では、左迷走神経耳枝に対するtVNSがもたらす自律神経活動の変調が月経周期により異なるかを明らかにすることを目的とした。

### 【方法】

本周期が25-38日である正常月経周期女性14名 (平均年齢: 20.6±0.5) を対象に、月経期 (卵胞前期)と黄体期の2期において、tVNSによる心拍数 (HR)および心拍変動 (HRV)の変化を計測した。被験者は安静イス座位にてtVNS刺激装置 (NEMOS, Cerbmed, Germany)の刺激電極を左耳甲介に装着し、tVNS刺激中の心電図波形を記録した。はじめにtVNSの感覚閾値を測定した後、刺激周波数100 Hz、および3.0mAの刺激強度で60秒間刺激をするActive条件と、感覚閾値の1.5倍強度で始めの5秒間のみ刺激するSham条件に分け実験を行った。各条件において、刺激前1分間のBaseline、刺激中、Post 1 (終了直後から1分間)、Post 2 (終了1分後から2分後までの1分間)の区間ごとにHR、およびHRVにおけるR-R間隔の差の2乗の平均値の平方根 (RMSSD)を算出した。統計解析は、各期の安静時の比較に対応のあるt検定を行い、周期、刺激条件、および時間要因に対して反復測定三元配置分散分析を行い、事後検定にBonferroni法による多重比較検定を用いた。有意水準は5%とした。

### 【結果】

安静時のHRは、黄体期で有意に高い傾向を示したが、有意差は認められなかった ( $p=0.063$ )。tVNSの効果に周期による差は認められず、sham条件を含む全ての条件で刺激中にHRの低下が認められた ( $p<0.001$ )。一方、RMSSDでは黄体期のActive条件のみ、Post 1でBaselineの値に比べて有意に高い値を示した ( $p=0.047$ )。

### 【考察】

tVNSは月経周期に関わらず刺激中に心拍数を低下させることが明らかとなった。また、黄体期のActive刺激においてのみ、刺激後に有意な副交感神経活動の増大を認めた。黄体期における交感神経活動の過剰な増大が月経随伴症状に関連していることが指摘されており、tVNSは黄体期に副交感神経活動を増大させることで有用な治療法になり得る可能性が示唆された。

### 【結語】

tVNSは月経周期の影響を受けずに刺激中に心拍数を低下させ、黄体期においては刺激後の副交感神経活動を増大させることが示唆された。

### 【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は所属機関の倫理委員会の承認 (18429-200610)を得て行った。また、対象者には、書面および口頭にて実験内容に関する説明を十分に実施し、実験参加の同意を得た上で実施した。

## Phase angleの年齢差における比較と高齢者の運動機能との関係

○今田 州<sup>1)</sup>, 高野 吉朗<sup>2)</sup>, 松田 憲亮<sup>2)</sup>, 濱地 望<sup>2)</sup>

- 1) 高木病院 リハビリテーション部  
2) 国際医療福祉大学 福岡保健医療学部

【目的】Phase angle(以下,PhA)は、細胞膜の抵抗角度を算出することで、細胞の生理的機能レベルを反映し、細胞や細胞膜の栄養状態や老化を表す指標として用いられている。PhAは疾患を対象として生命予後や栄養指標とした研究が報告されているが、高齢者の標準値や運動機能の関係についての報告は少ない。本研究の目的は、実験1)若年者と高齢者のPhAの比較、実験2)高齢者のPhAと運動機能との関連を明らかにし、効果指標の可能性を検討することとした。

【方法】実験1)では、健康若年女性(以下、若年者)20.1±0.4歳26名、地域在住高齢女性(以下、高齢者)77.5±3.4歳30名を対象とした。評価項目は、身長、体重及びInBodyS10(InBody社)を用いてPhA、筋肉量、SMI、体脂肪量、体脂肪率を測定した。実験2)では、高齢者30名を対象とした。評価項目は、口コモ25、短縮版Falls Efficacy Scale、10m歩行時間、等尺性膝関節伸筋力、TUG-t、SPPB、5回椅子立ち上がり試験、片脚立位時間、重心動揺検査の総軌跡長を測定した。統計解析は、実験1)は若年者と高齢者の体格および体組成の2群間比較は、Mann-Whitney U 検定を用いた。実験2)は高齢者のPhA値と体格および体組成、運動機能の関係はSpearmanの順位相関係数を用いた。検定には、SPSS statistics 22.0 (IBM社)を使用し、有意水準は5%とした。

【結果】実験1)では、高齢者のPhAは4.6±0.4°、若年者のPhAは5.3±0.5°で有意差が認められた。また、高齢者は若年者と比較し、BMI、SMI、下肢筋肉量が有意に高く、身長、体幹筋肉量が有意に低かった。実験2)では、等尺性膝関節伸筋力( $r=0.42$ )、5回椅子立ち上がり試験( $r=0.50$ )、開眼総軌跡長( $r=0.37$ )と有意な相関が認められた。

【考察】実験1)では、加齢によりPhAの低下が認められ、加齢による細胞の老化を示す効果指標になりえることが明らかになった。筋肉量の比較では同じ傾向を示さなかったが、被験者の脂肪量等の個人差のサンプリング誤差が影響したと考える。実験2)では、高齢者のPhAは、下肢筋力、姿勢制御との間に有意な関係が明らかになったことで、PhAは運動機能評価の指標の一つになりえる可能性が考えられる。PhAに関するシステムティックレビューによると(Eduardo.2019)、PhAが低い高齢者は転倒の可能性が高いと報告している。これらから、PhAと運動機能には関係があると推察されるため、さらなる基礎データの蓄積が必要であると考えられる。

【結語】高齢者のPhAは、若年者と比較して有意に低下していた。加えて、高齢者のPhAは、筋機能と姿勢制御に有意に関連していた。これらから、高齢者のPhAは運動機能の効果指標の一つとして利用できる可能性があることが分かった。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は、国際医療福祉大学学内倫理審査委員会の承認後(承認番号:20-Ifh-047)、対象者には研究説明書を用いて研究の目的、内容、参加することによる利益、不利、同意を撤回した場合の不利益がない事などを十分に説明し、書面での同意を得てから実施した。

