

経頭蓋電気刺激法の注意欠如・多動性障害への効果に関するメタアナリシス

黒川 清*

Meta-analysis of tDCS treatment for ADHD

Kiyoshi Kurokawa*

Abstract

Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) impacts a significant number of children and adolescents and often leads to deleterious functional impairment. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) has been proposed as a novel therapy. Some investigations have claimed that tDCS reduces the symptoms of ADHD, but studies on tDCS have demonstrated variable results. This meta-analysis aimed to examine the effect of tDCS on children and adolescents with ADHD. A systematic literature search was performed in four online databases in total including PubMed, Cochrane Library, bioRxiv and PsychINFO. The last search was in January 2018. Six studies, which attempted to evaluate the effectiveness using Go/No-Go task, were included in the meta-analysis. The studies, which the electrodes were placed over the left dorsolateral prefrontal cortex and performed No-Go task, produced the middle effect size ($SMD = 0.69$; 95% CI, 0.16 to 1.21). This result suggested that the effect of tDCS on children and adolescents with ADHD was limited.

Key words

meta-analysis、tDCS、ADHD、メタアナリシス、経頭蓋直流刺激法、
注意欠如・多動性障害

1 はじめに

注意欠如・多動性障害 (ADHD: Attention-deficit/hyperactivity disorder) は、多動性 (過活動)、不注意 (注意障害)、衝動性を症状の特徴とする神経発達症もしくは行動障害で [1]、文部科学省では「注意欠陥多動性障害とは、年齢あるいは発達に不釣り合いな

*くろかわ きよし：大阪国際大学人間科学部教授 (2018.6.28受理)

注意力、及び／又は衝動性、多動性を特徴とする行動の障害で、社会的な活動や学業の機能に支障をきたすものである。」と平成15年3月の「今後の特別支援教育の在り方について（最終報告）」において定義している。

ADHDは、7歳以前に現れ、その状態が継続し、中枢神経系に何らかの要因による機能不全があると推定されている。学童期の有病率は、3-4%であると考えられている。国外の研究では多動性、衝動性は年齢とともにおさまってくるが、不注意症状は成人期になってもなかなかおさまらず、成人の有病率は世界でおよそ2%程度であると考えられている [2-4]。本邦における成人に関する全国的規模の統計はなく、最も大規模な調査は中村らの浜松市における10,000人を対象とした疫学調査で、1.65%の有病率であったことが報告されている [5]。

ADHDの治療は、大きく分けて薬物療法と心理精神療法に分けられ、薬物療法は、効果が高いことが知られている [6]。用いる薬物としては、現在コンサータ、ストラテラ、インチュニブの3種類が本邦では上市されている。しかしながら、薬物依存や副作用の問題により薬物療法への抵抗感も根強く、副作用のない治療法の開発が望まれている。その一つとして、現在、非侵襲的な経頭蓋中枢神経刺激法が注目されている [7]。

経頭蓋中枢神経刺激法には幾つかの方法が存在するが、最も臨床実績があるのは、経頭蓋的に磁気刺激する方法 (TMS: transcranial magnetic stimulation) である [8]。

このTMSではファラデーの法則により間接的に電場を中枢神経系に生じさせる方法で、1985年に英国のAnthony Barkerらが、最初に手の筋から誘発筋電図を記録することに成功したことを報告した [9]。また、一方で直接、経頭蓋的に電場を与える方法として経頭蓋直流刺激法 (tDCS: transcranial direct current stimulation) が、開発されてきた。このtDCSは、ロシアにおいて1940年台から今日に至るまで長い間研究が継続されてきたが、当初は非常に強い電流と電圧が用いられてきた。しかしながら、TMSの研究成果が、弱い電流で可能であることを明らかにすると徐々に電流量が下げられてきており、今日では1-2mAの電流量によっておこなうようになり、TMSに比べ機器が簡便で、容易に作成できることから急速な普及が起こっており、ここ10年におけるtDCSに関する研究論文は300件を超えている [10]。

最初、tDCSは、脳卒中後のリハビリテーションに用いられていたが [11]、その後用途の拡大が進み、不安障害、感情障害、統合失調症といった神経疾患をはじめ多くの疾患への適応が検討されてきた [12]。そして、健常人への適応も行われるようになり [13]、認知機能や運動機能の促進についての研究も数多くなされている。また、当初は安全性に関する危惧もあり、成人への適応のみであったが、年齢的な広がりを示した。その結果自閉症スペクトラム (ASD) やADHDなど小児の神経疾患への応用が試みられるようになってきた [10]。

ここの研究が独自の評価方法やバラバラな評価方法がなされている場合は、メタアナリシスに適していないが、ADHDの場合は、評価方法としてGo/No-Go課題が比較的多く用いられてきた [14]。Go/No-Go課題は、行動的な衝動性を測定する指標として、自己抑制、行動抑制課題として広く研究者に利用されてきた課題で、ADHDの衝動行動の指標

として用いられてきている [15]。

Go/No-Go課題実験は、「赤いランプがいたらゴム球を握ってください。黄色いランプでは握らないでください。」という課題を被験者に与え、握る反応 (Go response) と握らない反応 (No-Go response) を選択させるなど、課題の選択を行わせる実験である [16]。Go/No-Go課題に対する反応は、単に小脳や運動野の機能を反映するだけではなく、前頭連合野の統合機能を反映し、特にNo-Go課題に対する反応は、変化する環境に適応するため、ある反応を続けようとする傾向に歯止めをかける機能、すなわち抑制機能を反映し、その中枢は前頭前野であろうと考えられている [17]。本研究では、ADHDにおけるtDCSの効果を実験メタアナリシスを用いて分析をおこない考察を加えた。

2 方法

2.1 文献収集

次の英文文献データベースを用い、検索した。

PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>)、PsycNET (<http://psycnet.apa.org/>)、Cochrane Library (<http://www.cochranelibrary.com/>)、bioRxiv (<https://www.biorxiv.org/>) の各データベースを用いて、2018年1月18日時点で検索をおこなった。

一次的検索の検索統制語は、[(ADHD) OR (comorbidities) OR (neuroplasticity) OR (child psychiatry) OR (child neurology) OR (adolescents)] AND [(transcranial magnetic stimulation) OR (transcranial direct current stimulation) OR (alternating current stimulation) OR (transcranial random noise stimulation)] とした。

2.2 文献選択、統計分析

前述の手続きで得られた文献リストから、本研究の目的と合致する文献を抽出した。本研究における適格基準は、random control studyであること。また、明確な他覚的測定法が用いられていることを規準に選択をした。

メタアナリシスは、Rとそのパッケージであるmetaをもちいておこない、信頼区間は95%で行った [18]。

3 結果

3.1 文献選択

一次的文献検索において649の文献が抽出された。その後、明確な他覚測定法が用いられているrandom control studyは表1に示すように6論文、10実験であった [19-24]。

表1 ADHD における tDCS の実施例

Study 名	year	Design	例数	年齢 (歳)	Anode (陽極)	Cathod (陰極)	電流量 (mA)	面積 (cm^2)	評価方法	Ref.
Cosmo_F	2015	PA	60	18 - 65	Left DLPFC (F3)	Right DLPFC (F4)	1	35	Go/No-Go	[19]
Cosmo_L	2015	PA	60	18 - 65	Left DLPFC (F3)	Right DLPFC (F4)	1	35	Go/No-Go	[19]
Cosmo_EEG/FCN	2015	PA	60	18 - 65	Left DLPFC (F3)	Right DLPFC (F4)	1	35	EEG/FCN	[20]
Soltaninejad_L	2015	CO	20	15 - 17	Left DLPFC (F3)	Right SO	1.5	35	Go/No-Go	[21]
Soltaninejad_R	2015	CO	20	15 - 17	Right SO	Left DLPFC (F3)	1.5	35	Go/No-Go	[21]
Bandeira	2016	OL	9	7 - 15	Left DLPFC (F3)	Right SO	2	35	TAVIS-3, NEPSY-II	[22]
Cachoeira	2017	CO	17	18 - 45	Right DLPFC	Left DLPFC	2	35	ASRS, SDS	[23]
Nejati_ex1	2018	CO	30	10 (2.23)*	Left DLPFC (F3)	Right DLPFC (F4)	2	25	Stroop, N-back, WCST, Go/No-Go	[24]
Nejati_ex2a	2018	CO	20	10 (2.23)*	Left DLPFC (F3)	Right Fp2	2	25	N-back, WCST, Go/No-Go	[24]
Nejati_ex2c	2018	CO	20	10 (2.23)*	Right Fp2	Left DLPFC (F3)	2	25	N-back, WCST, Go/No-Go	[24]

注) * : 平均 (SD)

略号)

Ref. Reference (参考文献); CO: crossover study; DLPFC: dorsolateral prefrontal cortex; F3, F4, Fp2: 脳波計 (electroencephalographic: EEG) において標準的に用いられている電極貼り付け場所、Fp2は前頭極前部前頭葉、F3、F4は前頭部運動野 [38]; OL: openlabel study; PA: parallel-arm study; SO: supraoptic region; ASRS: Adult ADHD Self-Report Scale; SDS: Sheehan Disability Scale; TAVIS-3: Visual Attention Test; NEPSY-II: Battery Subtest neuropsychological Development Assessment; EEG/FCN: functional cortical network (FCN) model based on EEG activity

これらの実験の中でGo/No-Go課題における効果を測定していた研究が7実験存在していた(表1)。Bandeiraの実験では、Visual Attention Test (TAVIS-3) と Battery Subtest neuropsychological Development Assessment (NEPSY-II) が、Cachoeiraの実験では、Adult ADHD Self-Report Scale (ASRS) と Sheehan Disability Scale (SDS) が評価法として用いられていた [22、23]。

表2 tDCSのADHDに対する効果 Go/No-Go課題への影響

Study名	year	Measere	tDCS		sham		Ref.
			mean	SD	mean	SD	
Cosmo_F	2015	Correct responses	8.40	22.58	10.57	18.92	[19]
		Impulsivity errors	-5.54	10.03	-6.90	10.40	
		Omission errors	-2.87	24.54	-3.67	21.16	
Cosmo_L	2015	Correct responses	4.77	18.83	3.40	18.48	[19]
		Impulsivity errors	-3.94	13.34	-1.27	6.30	
		Omission errors	-0.83	17.14	-2.13	20.41	
Soltaninejad_L	2015	Accuracy Go	98.81	3.56	98.88	1.85	[21]
		RT	0.83	0.29	0.91	0.35	
		Accuracy No-Go	96.23	8.23	95.82	6.89	
Soltaninejad_R	2015	Accuracy Go	97.26	4.01	98.88	1.85	[21]
		RT	0.91	0.28	0.91	0.35	
		Accuracy No-Go	99.58	1.58	95.82	6.89	
Nejati_ex1	2018	Accuracy Go	93.33	11.42	90.90	19.56	[24]
		RT	1.08	0.21	1.03	0.17	
		Accuracy No-Go	19.86	7.6	19.00	7.80	
Nejati_ex2a	2018	Accuracy Go	100.00	0.00	98.54	3.24	[24]
		RT	1.33	0.9	1.23	0.12	
		Accuracy No-Go	22.7	1.33	20.7	4.39	
Nejati_ex2c	2018	Accuracy Go	100.00	0.00	98.54	3.24	[24]
		RT	1.31	0.13	1.23	0.12	
		Accuracy No-Go	24.2	1.22	20.7	4.39	

略号)

RT: reaction time of Go stimuli; Ref.: Reference; tDCS: transcranial direct current stimulation;

Go/No-Go課題提示実験において、Cosmoらの研究では、Go課題とNo-Go課題を区別することなく、fruits (Cosmo_F) とletter (Cosmo_L) という2種類の課題提示方法による違いを扱っていた(表2)。^[19]、それ以外の例ではGo課題とNo-Go課題を区別して測定が行われていた(表2)。このため、Cosmoらの研究は全体的な分析においては考慮したが、Go課題とNo-Go課題を区別した分析には用いなかった。

また、Left DLPFC (F3) にAnode (陽極) 電極を設置した場合 (Soltaninejad_L、Nejati_ex1、Nejati_ex2a) とCathode (陰極) 電極を設置する場合 (Soltaninejad_R、Nejati_ex2c) の2つの場合があったため、これらを同一に扱う場合と区別する場合の2通りの解析をおこなった。

このうち、Nejati_ex2aとNejati_ex2cの2つの実験のGo課題の正確性において平均=100、SD=0という一見、優れた結果であるが、後のメタアナリシスにおいて不適であったが、解析には影響がなかった。

3.2 統計分析

全体的な分析をまずおこなった、標準化平均差 (SMD) がfixed effect model 0.12、Random effects model 0.14で95% confidence interval (CI) がそれぞれ [95%CI: -0.09; 0.32]、[95%CI: -0.11; 0.39] と小さな効果を示すに過ぎなかった(図1)。

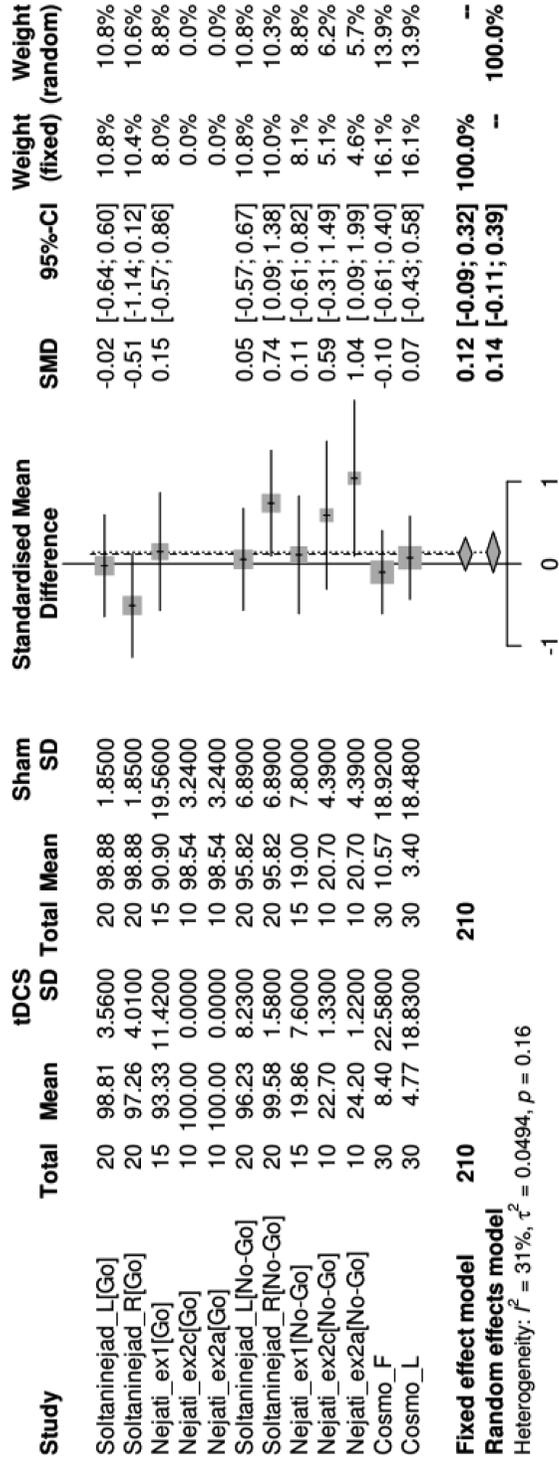


図1 : tDCSのGo/No-Go課題における正確性への影響

次に、Go課題に関する正確性に関して、電極の位置を考慮せずに分析をおこなったところ、SMDがfixed efect model -0.15 [95%CI : -0.53 ; 0.23]、Random effects model -0.15 [95%CI : -0.53 ; 0.23] で (図 2 A)、Anode電極の位置がLeft DLPFC (F3) に設置した場合には、SMDがfixed effect model 0.05 [95%CI : -0.42 ; 0.52]、Random effects model 0.05 [95%CI : -0.42 ; 0.52] で (図 2 B)、Anode電極の位置がLeft DLPFC (F3) に設置した場合SMDがfixed efect model -0.51 [95%CI : -1.14 ; 0.12]、Random effects model -0.51 [95%CI : -1.14 ; 0.12] (図 2 C) となり、Go課題に関して全体的に一定の結果を得ることはできなかった。

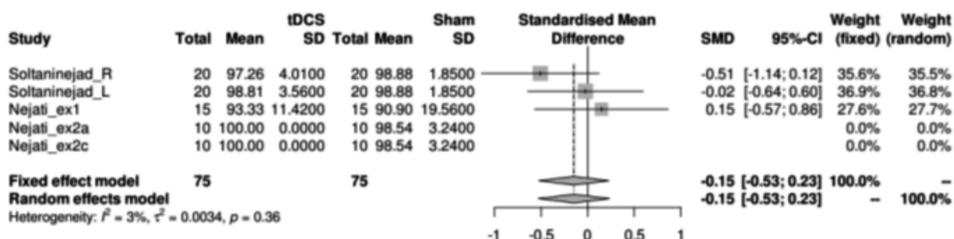


図2A

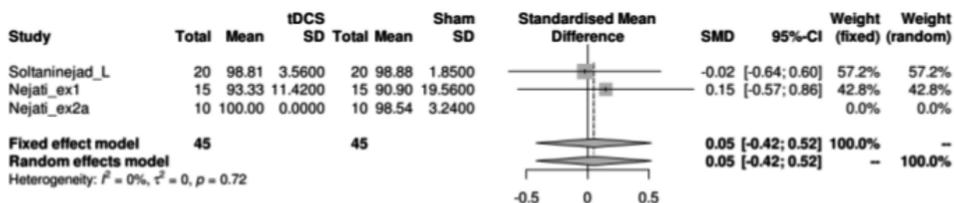


図2B

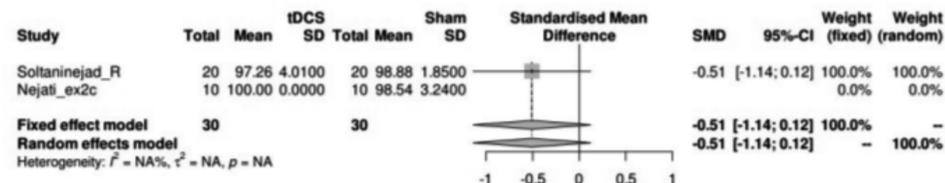


図2C

図2 A : tDCSのGo課題における正確性への影響、B : tDCSのGo課題における正確性への影響 Anode電極をDLPPCに装着した場合、C : tDCSのGo課題における正確性への影響Cathode電極をDLPPCに装着した場合

また、Nejati_ex2aとNejati_ex2cの2つの実験のGo課題の正確性に関しては解析に用いることはなかった。

No-Go課題に関する正確性に関して、電極の位置を考慮せずに分析をおこなったところ、SMDがfixed effect model 0.43 [95%CI : 0.10 ; 0.76]、Random effects model 0.44 [95%CI : 0.08 ; 0.80] で (図 3 A)、Anode電極の位置がLeft DLPFC (F3) に設置した場合は、SMDがfixed effect model 0.27 [95%CI : -0.15 ; 0.69]、Random effects model 0.31 [95%CI : -0.23 ; 0.85] で (図 3 B)、Anode電極の位置がLeft DLPFC (F3) に設置した場合SMDがfixed effect model 0.69 [95%CI : 0.16 ; 1.21]、Random effects model 0.69 [95%CI : 0.16 ; 1.21] (図 3 C) となり、No-Go課題に関して全体的に中程度の効果があることが判明した。

加えて、電極の設置場所による差もさほど存在しなかった。

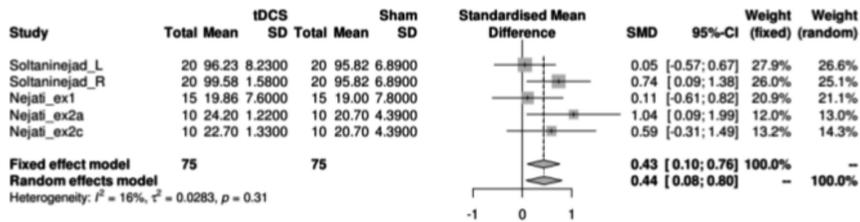


図3A

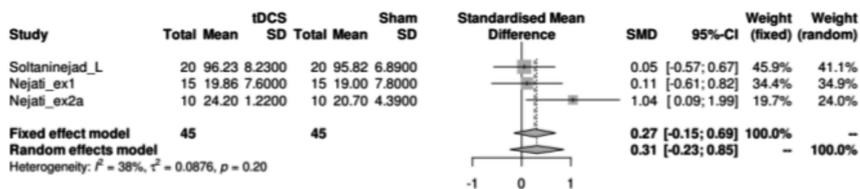


図3B

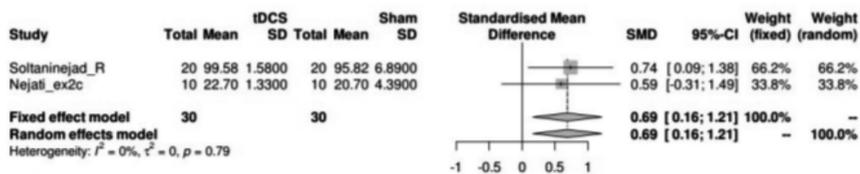


図3C

図3 A : tDCSのNo-Go課題における正確性への影響、B : tDCSのNo-Go課題における正確性への影響Anode電極をDLPPCに装着した場合、C : tDCSのNo-Go課題における正確性への影響Cathode電極をDLPPCに装着した場合

4 考察

ADHDにおける、脳のネットワークに異常については多くの研究が行なわれてきており、それらの研究の蓄積により前頭前皮質背外側部（dorsolateral prefrontal cortex : DLPFC）と背側前帯状皮質（dorsal anterior cingulate cortex : dACC）の機能不全であることが判明してきている [25]。DLPFCは、記憶、運動制御、意思決定など多岐にわたる機能を担っており、脳の中で比較的遅く、成熟する場所であることが判明しているが [26]、ADHDでは、正常よりさらに成熟が遅れることが報告されている [27]。この成熟の遅れが、脳のネットワークの異常につながると考えられる。一方で、tDCSの電極の設置場所としてもっともDLPFCが試みられてきたが、このことは多くの精神疾患で認知機能などのDLPFCの領域が担う機能を改善しようとしてのことである。ADHDにおいても、ほとんどすべての実験例において電極の設置場所としてDLPFCが多く試みられてきた。DLPFCの機能は多岐にわたり、他の多くの脳の領域と線維連絡をしている。加えて、注意機能ひとつを考えたとしても、注意機能は、警告状態（Alerting network）、注意の定位（Orienting network）、実行制御（Executive control network）の3種類に分けられるが [28]、Silvaらによれば、線維筋痛症におけるtDCSの疼痛軽減に関する実験を通じて、tDCSのDLPFCへの作用には、注意の定位と実行制御への改善であり、警告状態には影響しなかったことを報告しており [29]、tDCSがDLPFCの全ての機能を改善することは、難しいのではないかと考える。

Durstonらは、No-Go課題に先行するGo課題の連続回数により、No-Go課題時における認知処理に違いがみられることを明らかにしており [30]、澤木らは、fMRIを用いた研究において、低ADHD症状群と高ADHD症状群における行動抑制時の脳活動を比較検討しているが、No-Go課題に先行するGo課題の回数が多い少ないで、行動指標に差がないが、fMRI（機能的磁気共鳴画像：functional magnetic resonance imaging）から行動抑制の神経基盤とされる脳領域の活動に有意な差がみられたことを報告しており [31]、これらのことより指標として用いたGo/No-Go課題が単純な脳の課題ではなく、No-Go課題が先行するGo課題に依存した脳の記憶に関わる機能を反映していくことが示唆される。今回のメタアナリシスに用いた実験系もすべてGo課題の後にNo-Go課題を実施しており、No-Go課題のGo課題への依存性がいかほどであるかのチェックはなされていない。また、順序を逆転させた実験（No-Go課題の後にGo課題）が行われておらず、不確かなものであると考える。

Go/No-Go課題は、意思決定において抑制性に働く非常に高度な認知機能に関わっていると考えられてきた [32]。この高度な認知機能の障害というのがまさにADHDの障害であると考えられ、ADHDの多くの研究においてGo/No-Go課題が用いられてきた [33]。しかしながら、ADHDの患児のうち約半分の患児にのみ行動抑制の乏しさが存在すると考えられており、ADHDが非常に多彩で、1つの疾患概念として扱うことが妥当であるか

否かは常に議論される場所である [34-36]。また、ADHDにおけるGo/No-Go課題に対する男女差があることも知られており [37]、実験系は一見シンプルな系であるが、詳しく検討すると非常に種々の因子が絡みあっており、効果指標も単純で無いことがわかる。

今回のメタアナリシスでは、一部に優位な結果であったことは、tDCSのADHDへの臨床応用への道を開くが、現状の結果では、短絡的にtDCSがADHDへの有効手段であるという結論に至るのは難しく、さらなる情報の蓄積が必要であると考えられる。

References

- [1] American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition: DSM-5*. American Psychiatric Publishing, 2013.
- [2] J. Fayyad *et al.* Cross-national prevalence and correlates of adult attention-deficit hyperactivity disorder. *The British Journal of Psychiatry*, Vol. 190, No. 5, pp. 402-409, 2007.
- [3] A. Thapar and M. Cooper. Attention deficit hyperactivity disorder. *The Lancet*, Vol. 387, No. 10024, pp. 1240-1250, 2016.
- [4] 本田秀夫. 大人になった発達障害. 認知神経科学, Vol. 19, No. 1, pp. 33-39, 2017.
- [5] 中村和彦. 成人期注意欠陥・多動性障害の疫学, 診断, 治療法に関する研究 (2009年度総括報告書). 厚生労働省, 2009. 厚生労働科学研究費補助金 (厚生科研費).
- [6] L. Briars and T. Todd. A Review of Pharmacological Management of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *J Pediatr Pharmacol Ther*, Vol. 21, No. 3, pp. 192-206, 2016.
- [7] B. Rubio *et al.* Noninvasive Brain Stimulation in Pediatric Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Review. *J. Child Neurol.*, Vol. 31, No. 6, pp. 784-796, 2016.
- [8] 井上雄吉. 反復経頭蓋磁気刺激 (rTMS) 療法. 神経治療学, Vol. 33, No. 2, pp.228-233, 2016.
- [9] A.T. Barker, R. Jalilou, and I.L. Freeston. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *The Lancet*, Vol. 325, No. 8437, pp. 1106-1107, 1985. Originally published as Volume 1, Issue 8437.
- [10] J.-P. Lefaucheur. A comprehensive database of published tDCS clinical trials (2005-2016). *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, Vol. 46, No. 6, pp. 319-398, 2016.
- [11] N. Roche, M. Geiger, and B. Bussel. Mechanisms underlying transcranial direct current stimulation in rehabilitation. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 58, No. 4, pp. 214-219, 2015. Special Issue.
- [12] A. Demirtas-Tatlidede, A. M. Vahabzadeh-Hagh, and A. Pascual-Leone. Can noninvasive brain stimulation enhance cognition in neuropsychiatric disorders? *Neuropharmacology*, Vol. 64, pp. 566-578, 2013. Cognitive 12 Enhancers: molecules, mechanisms and minds.
- [13] L. Angius, J. Hopker, and A. R. Mauger. The ergogenic effects of transcranial direct current stimulation on exercise performance. *Frontiers in Physiology*, Vol. 8, p. 90, 2017.
- [14] T. N. Antonini *et al.* Mediators of methylphenidate effects on math performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, Vol. 35, No. 2, pp. 100-107, 2014.
- [15] F. Li *et al.* A preliminary study of movement intensity during a go/no-go task and its association with ADHD outcomes and symptom severity. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, Vol. 10, No. 1, p. 47, 2016.
- [16] 土田宣明. 抑制機能の分類に関する研究. 立命館文学, No. 599, pp. 100-109, 2007.
- [17] 安村明, 高橋純一, 福田亜矢子. ADHD児における実行機能の検討: 干渉抑制機能の観点から (第19回認知神経科学会 (その1)) - (シンポジウム 発達障害の診断と治療生理学的指標に基づ

- いた知見). 認知神経科学, Vol. 16, No. 3, pp. 171-178, 2015.
- [18] D.-G. Chen and K. E. Peace. *Applied Meta-Analysis with R (Chapman & Hall/CRC Biostatistics Series)*. Chapman and Hall/CRC, 2013.
- [19] C. Cosmo *et al.* A Randomized, Double-Blind, Sham-Controlled Trial of Transcranial Direct Current Stimulation in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *PLoS ONE*, Vol. 10, No. 8, p. e0135371, 2015.
- [20] C. Cosmo *et al.* Spreading Effect of tDCS in Individuals with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder as Shown by Functional Cortical Networks: A Randomized, Double-Blind, Sham-Controlled Trial. *Front Psychiatry*, Vol. 6, p. 111, 2015.
- [21] Z. Soltaninejad, V. Nejati, and H. Ekhtiari. Effect of Anodal and Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation on DLPFC on Modulation of Inhibitory Control in ADHD. *J Atten Disord*, Vol. 6, p. 111, 2015.
- [22] I. D. Bandeira *et al.* Transcranial Direct Current Stimulation in Children and Adolescents With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A Pilot Study. *J. Child Neurol.*, Vol. 31, No. 7, pp. 918-924, 2016.
- [23] C. T. Cachoeira *et al.* Positive effects of transcranial direct current stimulation in adult patients with attention-deficit/hyperactivity disorder a pilot randomized controlled study. *Psychiatry Research*, Vol. 247, pp. 28-32, 2017.
- [24] V. Nejati *et al.* Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: Implications for inhibitory control, interference control, working memory, and cognitive flexibility. *Journal of Attention Disorders*, Vol. 0, No. 0, p. 1087054717730611
- [25] N. Makris *et al.* Towards conceptualizing a neural systems-based anatomy of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Dev. Neurosci.*, Vol. 31, No. 1-2, pp. 36-49, 2009
- [26] J. M. Fuster. The prefrontal cortex-an update: time is of the essence. *Neuron*, Vol. 30, No. 2, pp. 319-333, 2001.
- [27] P. Shaw *et al.* Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 49, pp. 19649-19654, 2007.
- [28] J. Fan *et al.* The relation of brain oscillations to attentional networks. *Journal of Neuroscience*, Vol. 27, No. 23, pp. 6197-6206, 2007.
- [29] A. F. Silva *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex modulates attention and pain in fibromyalgia: randomized clinical trial. *Sci Rep*, Vol. 7, No. 1, p. 135, 2017.
- [30] S. Durston *et al.* The effect of preceding context on inhibition: An event-related fmri study. *NeuroImage*, Vol. 16, No. 2, pp. 449-453, 2002.
- [31] 澤木梨沙, 寺尾敦, 室橋春光, 宮本環. AD/HD 症状の程度で異なる健常成人の行動抑制時における神経活動. 生理心理学と精神生理学, Vol. 23, No. 1, pp. 19-28, 2005.
- [32] K. Rubia, *et al.* Mapping motor inhibition: Conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *NeuroImage*, Vol. 13, No. 2, pp. 250-261, 2001.
- [33] B. Metin *et al.* A meta-analytic study of event rate effects on Go/No-Go performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol. Psychiatry*, Vol. 72, No. 12, pp. 990-996, 2012.
- [34] E. J. Sonuga-Barke. Psychological heterogeneity in AD/HD-a dual pathway model of behaviour and cognition. *Behav. Brain Res.*, Vol. 130, No. 1-2, pp. 29-36, 2002.
- [35] J. T. Nigg *et al.* Causal heterogeneity in attention-deficit/hyperactivity disorder: do we need neuropsychologically impaired subtypes? *Biol. Psychiatry*, Vol. 57, No. 11, pp. 1224-1230, 2005.
- [36] E. G. Willcutt *et al.* Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biol. Psychiatry*, Vol. 57, No. 11, pp. 1336-1346, 2005.
- [37] K. E. Seymour, S. H. Mostofsky, and K. S. Rosch. Cognitive Load Differentially Impacts

経頭蓋電気刺激法の注意欠如・多動性障害への効果に関するメタアナリシス

Response Control in Girls and Boys with ADHD. *J Abnorm Child Psychol*, Vol. 44, No. 1, pp. 141-154, 2016.

[38] 人見健文, 池田昭夫. 脳波の基礎知識. 臨床神経生理学, Vol. 42, No. 6, pp. 365-370, 2014.

