



Effekte transkranieller Wechselstromstimulation auf das Putten bei fortgeschrittenen Golfern

Ulrich Schäring¹, Reiner Emkes¹, Daniel Strüber^{1,2}, Jörg Schorer³ und Christoph S. Herrmann^{1,2} 

¹ Abteilung Allgemeine Psychologie, Department für Psychologie, European Medical School, Cluster of Excellence „Hearing for all“, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Deutschland

² Forschungszentrum Neurosensorik, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Deutschland

³ Abteilung Sport und Bewegung, Institut für Sportwissenschaft, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Deutschland

Zusammenfassung: Studien zur Untersuchung der Effekte transkranieller Wechselstromstimulation (tACS) auf komplexe Präzisionssportarten wie das Golfen liegen bisher nicht vor. Für den Golfputt deuten bisherige elektrophysiologische Studien auf einen Zusammenhang zwischen Putt-Leistung und der EEG-Aktivität im Alpha-Frequenzbereich hin. In der vorliegenden Studie untersuchen wir, ob Alpha-tACS über dem Motorkortex zu einer Verbesserung des Golfputts führt. Dazu erhielten jeweils 15 fortgeschrittene Golfer entweder Alpha-tACS oder Sham-Stimulation in drei Blöcken mit jeweils 50 Putts vor, während und nach der Stimulation. Als abhängige Variablen wurden sowohl die Bewegungsausführung (Wiederholbarkeit) als auch das Bewegungsergebnis (Distanzkontrolle) erfasst. Ein förderlicher tACS-Effekt auf die Putt-Leistung konnte nicht nachgewiesen werden.

Schlüsselworte: tACS, Motorik, Hirnoszillationen, EEG, Alpha-Frequenz, Golf-Putten

The Effects of Transcranial Alternating Current Stimulation on Putting in Advanced Golfers

Abstract: There are presently no studies investigating the effects of transcranial alternating current stimulation (tACS) on complex precision sports such as golf. For the golf putt, previous electrophysiological studies indicate a connection between putt performance and EEG alpha activity. Here, we investigate whether alpha-tACS over the motor cortex improves golf putting. To this end, 15 advanced golfers each received either alpha-tACS or sham stimulation in three blocks of 50 putts before, during, and after stimulation. We measured both movement execution (repeatability) and movement result (distance control) as dependent variables. We did not find an enhancing effect of alpha-tACS on golf putting performance.

Keywords: tACS, motor function, brain oscillations, EEG, alpha frequency, Golf-Putting

Einleitung

Die transkranielle Wechselstromstimulation (engl.: *transcranial alternating current stimulation* [tACS]) ist ein Verfahren zur frequenzspezifischen Beeinflussung oszillatorischer Gehirnaktivität, die sich mittels des Elektroenzephalogramms (EEG) messen lässt (Paulus, 2011). Im Unterschied zu anderen nichtinvasiven Gehirnstimulationsverfahren wie der transkraniellen Gleichstromstimulation (engl.: *transcranial direct current stimulation* [tDCS]), der transkraniellen „random noise“-Stimulation (tRNS) oder der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) wird bei der tACS ein sinusförmiger Wechselstrom

einer bestimmten Frequenz appliziert (Antal & Herrmann, 2016; Paulus, 2011; Veniero, Strüber, Thut & Herrmann, 2019; Vosskuhl, Strüber & Herrmann, 2018). Dadurch werden endogene Hirnoszillationen in ihrer Amplitude oder Phasenlage verändert und die mit der jeweiligen Oszillation in Zusammenhang stehenden kognitiven Prozesse moduliert. Die Effektivität der tACS konnte mittlerweile in zahlreichen neurokognitiven Studien zu sensorischen, motorischen und Wahrnehmungsprozessen mit gesunden Proband_innen belegt werden (Herrmann, Rach, Neuling & Strüber, 2013; Herrmann, Strüber, Helfrich & Engel, 2016; Strüber & Herrmann, 2020). Auch auf klinische Anwendungsmöglichkeiten

der tACS zur Unterstützung kognitiver Funktionen im Kontext neuropsychiatrischer und neurologischer Erkrankungen wird zunehmend hingewiesen (Fröhlich, Sellers & Cordle, 2015; Herrmann & Strüber, 2017; Strüber & Herrmann, 2020; Vosskuhl, Strüber & Herrmann, 2015).

In den Sportwissenschaften hingegen hat die Anwendung der tACS bisher noch kaum Beachtung gefunden. Es liegt lediglich eine Studie zum Einfluss der Stimulation des motorischen Kortex im Gamma-Frequenzbereich (50 Hz) auf die Explosivkraft der oberen und unteren Extremitäten vor (Giustiniani et al., 2021) sowie eine weitere Arbeit zur Verbesserung von Arbeitsgedächtnis und selektiver Aufmerksamkeit mittels 10 Hz-tACS bei jungen Athlet_innen mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (Amouzadeh & Sheikh, 2022). TACS-Studien mit dem Ziel einer Leistungssteigerung in komplexen Präzisionssportarten wie etwa dem Golfen fehlen bisher gänzlich. Es liegen lediglich einige Studien vor, die das Putten im Golf mithilfe von tDCS (transkranielle Gleichstromstimulation [engl.: *transcranial direct current stimulation*]; Harris, Wilson, Buckingham & Vine, 2019; Zhu et al., 2015) und tRNS (transkranielle „random noise“-Stimulation; de Albuquerque et al., 2019) untersuchten. Dabei konnten Zhu et al. (2015) eine Verbesserung der Putt-Leistung bei Probanden ohne bisherige Golferfahrung als Folge einer Stimulation des linken dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) während einer Trainingsphase erzielen. Die Autoren erklären diese Leistungssteigerung mit dem hemmenden Einfluss der kathodalen tDCS auf den DLPFC, der eine Reduktion expliziter Lernprozesse und somit eine Förderung des impliziten motorischen Lernens bewirkt hat (Zhu et al., 2015). Hingegen konnten Harris et al. (2019) durch getrennt vorgenommene Aktivierung des frontalen, motorischen und visuellen Kortex mittels anodaler tDCS keine Verbesserung der Putt-Leistung bei Golfanfängern erzielen. Auch eine Stimulation des motorischen Kortex mittels tRNS führte zu keiner Erhöhung der Lernleistung beim Putten (de Albuquerque et al., 2019).

Im Unterschied zu tDCS oder tRNS bietet die tACS den Vorteil, dass die an einer komplexen motorischen Leistung, wie einer bimanuellen- oder Auge-Hand-Koordination, beteiligten kognitiven Prozesse nicht nur über die Stimulation relevanter Hirnareale, sondern über die Modulierung der sie repräsentierenden EEG-Frequenzen beeinflusst werden können (Berger, Pixa, Steinberg & Doppelmayr, 2018). Einen ähnlichen Ansatz verfolgt auch das Neurofeedback-Training zur Amplitudenerhöhung motorisch relevanter EEG-Frequenzen, das bereits erfolgreich zur Erhöhung der Putt-Leistung angewandt wurde (Cheng et al., 2015). Bei Anwendung der tACS entfallen jedoch die zum Erlernen des Neurofeedbacks erforderlichen Trainingseinheiten, da die oszillatorische Gehirnaktivität

direkt über die auf der Kopfhaut applizierten Elektroden manipuliert werden kann. Insofern könnte sich die tACS zu einer neuen unterstützenden Trainingsmethode bei Präzisionssportarten entwickeln.

Der Erfolg bei selbstgesteuerten visuo-motorischen Anforderungen wie dem Golfputten hängt von der Aufrechterhaltung zielgerichteter Aufmerksamkeit und der Programmierung einer angemessenen motorischen Reaktion ab (Harris et al., 2019). Entsprechend stellt der Golfputt ein wichtiges Forschungsparadigma zur Bestimmung psychophysiologischer Indikatoren erfolgreicher motorischer Leistungen dar. Dabei haben sich insbesondere Veränderungen der Herzfrequenz und der oszillatorischen EEG-Aktivität als für die Handlungsvorbereitung bedeutsame Faktoren ergeben (Cooke, 2013; Crews & Landers, 1993). Für die vorliegende Studie stehen dabei Befunde zur funktionalen Rolle spezifischer EEG-Frequenzen bei erfolgreichen Golfputts im Vordergrund, die als Grundlage für eine frequenzspezifische Modulation mittels tACS dienen können.

Ein Zusammenhang zwischen Putt-Leistung und EEG-Aktivität wurde vor allem für das Theta- (~ 4–8 Hz) und Alpha-Band (~ 8–12 Hz) berichtet (Baumeister, Reinecke, Liesen & Weiss, 2008; Crews & Landers, 1993). Dabei besteht eines der konsistentesten Ergebnisse darin, dass die während der motorischen Vorbereitungsphase an fronto-zentralen Elektrodenpositionen gemessene Amplitude der Alpha-Aktivität vor erfolgreichen Putts geringer ist als vor fehlerhaften Putts (Babiloni et al., 2008; Cooke, 2013; Gallicchio, Cooke & Ring, 2017; Muangjaroen & Wongawatt, 2012). Insofern scheint eine Reduktion der Alpha-Amplitude sich förderlich auf die für erfolgreiche Golf-Putts notwendige feinmotorische Koordination auszuwirken. Eine Reduktion der Alpha-Amplitude repräsentiert die Aktivierung sensomotorischer Kortex-Areale während der Planung und Ausführung selbstbestimmter Willkürbewegungen und ist als ereigniskorrelierte Desynchronisation (engl.: *event-related desynchronization* [ERD]) bekannt (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999; Pfurtscheller, Neuper & Krausz, 2000). Darüber hinaus hängt Alpha-ERD im Allgemeinen mit feinen kognitiv-motorischen Leistungen zusammen (Neuper & Pfurtscheller, 1992; Pfurtscheller & Berghold, 1989). Auch bei Golfexpert_innen wurde vor erfolgreichen Putts eine stärkere Alpha-ERD beobachtet als bei fehlerhaften Putts (Babiloni et al., 2008).

In diesem Kontext ist es wichtig, anzumerken, dass das Ausmaß der Alpha-ERD von der Höhe der dem Ereignis vorausgehenden Alpha-Aktivität abhängt (Doppelmayr, Klimesch, Pachinger & Ripper, 1998; Min et al., 2007), d. h., dass die für eine feinmotorische Leistungssteigerung erforderliche Alpha-Reduktion umso effektiver verlaufen kann, je stärker die vorherige Alpha-Aktivität ist. Im Rahmen der vorliegenden Studie gehen wir daher davon aus,

dass die Anwendung von Alpha-tACS während des Golfputts zu einer Erhöhung der Alpha-Amplitude führt, die wiederum eine verstärkte ERD vor dem Golfputt ermöglicht, was letztendlich eine Verbesserung der Feinmotorik bewirkt. Diese Argumentation folgt den Ergebnissen einer Studie, in der die Effektivität von Alpha-tACS zur Verstärkung der ERD und einer damit einhergehenden Leistungsverbesserung bei einer mentalen Rotationsaufgabe nachgewiesen werden konnte (Kasten & Herrmann, 2017).

Zur Erfassung der Putt-Leistung wurde zum einen die Distanz des Balls zum Loch („Distanzkontrolle“) gemessen. Zum anderen wurde die sogenannte „Wiederholbarkeit“ erhoben. Dieses Maß beschreibt die Konsistenz der Schlagbewegung beim Putten und wurde mithilfe der Science and Motion (SAM) Puttlab-Technologie (Science & Motion, 2008) bestimmt (siehe Abschnitt „SAM Puttlab“). Je konsistenter die Schlagbewegung hinsichtlich verschiedener Putt-Parameter, wie beispielsweise der Geschwindigkeit beim Ausholen oder im Treffmoment, ausgeführt wird, desto höher ist der Automatisierungsgrad der Bewegung. Dabei ergibt sich die Konsistenz aus der für die einzelnen Bewegungsparameter berechneten intraindividuellen Varianz über verschiedene Putts (siehe Abschnitt „Abhängige Variablen“). Das SAM Puttlab wurde bereits in zahlreichen Studien unterschiedlicher Fragestellungen zur Aufzeichnung des Bewegungsablaufs beim Putten verwendet (z. B. Land, Tenenbaum, Ward & Marquardt, 2013; Marquardt, 2009; Martin et al., 2015; Toner & Moran, 2011).

Wiederholbarkeit und Distanzkontrolle gelten als die wichtigsten Putt-Leistungsparameter (Marquardt, 2007; Pelz, 1991). Entsprechend wird in der vorliegenden Studie die Hypothese überprüft, dass Alpha-tACS über dem Motorkortex im Vergleich mit einer Kontrollgruppe (Sham-Stimulation) zu einer verbesserten Distanzkontrolle und Wiederholbarkeit führt.

Methoden

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 30 männliche rechtshändige Golfspieler mit einem Durchschnittsalter von 50.2 Jahren teil ($SD = 6.2$, Range: 35–60 Jahre). Die Stichprobengröße ($n = 30$) wurde vorab mittels G-Power (Version 3.1.9.4) unter Berücksichtigung der berechneten Effektgröße ($\eta^2 = 0.3$) bestimmt. Das durchschnittliche European Golfers Association Handicap (kurz EGA, Hcp) betrug 30.88 ($SD = 7.94$). Das niedrigste Hcp lag bei 18.6 und das höchste HCP bei 45.0. Die Golfvorerfahrung reichte von einem Jahr bis zu 32 Jahren ($M = 7.53$, $SD = 7.82$). Die Golfspieler wurden aus vier verschiedenen Golfclubs rekrutiert.

Für die Teilnahme an dieser Studie bekamen die Teilnehmer kostenlos einen Putt-Report zu ihrer Putt-Technik. Zusätzlich erhielten sie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 30 €. Vor der Untersuchung erhielten die Teilnehmer detaillierte Informationen zum Ablauf der Studie, zur Wechselstromstimulation sowie über Freiwilligkeit, Anonymität, Datenschutz und Vergütung. Im Anschluss wurde ihnen eine Einverständniserklärung ausgehändigt. Das Studienvorhaben wurde durch die Ethikkommission der Universität Oldenburg genehmigt.

Design

Die Studie wurde im Oldenburgischen Golfclub e.V. in Rastede (Niedersachsen) auf einem regulären Golf-Grün mit Bentgras (*Agrostis stolonifera*) durchgeführt. Die Teilnehmer wurden zufällig entweder der Experimentalgruppe (EG, $n = 15$) mit tACS oder der Kontrollgruppe (KG, $n = 15$) mit Placebo/Sham-Stimulation zugewiesen. Dabei ergab sich für die KG ein mittleres Alter von 50.87 Jahren ($SD = 5.9$) und für die EG ein Altersmittelwert von 49.67 Jahren ($SD = 6.62$). Das mittlere Hcp lag für die KG bei 30.27 ($SD = 7.64$) und für die EG bei 31.49 ($SD = 8.44$). *T*-Tests haben gezeigt, dass sich weder das Alter ($p = .302$) noch das Hcp ($p = .340$) signifikant zwischen den Gruppen unterschieden.

Vor und nach dem jeweiligen Stimulationsblock fand jeweils ein Block ohne Stimulation statt (Abbildung 1). Dabei wurden pro Block 50 Putts durchgeführt und aufgezeichnet. Jeder Block (vor, während und nach der Stimulation) dauerte durchschnittlich 20 Minuten. Zwischen den Blöcken konnten die Probanden selbstbestimmte Pausen einlegen, die protokolliert wurden.

Die Putts wurden von einem fixen Startpunkt aus durchgeführt, dessen Abstand zum Loch (Durchmesser: 10.8 cm) 3.5 m betrug (Abbildung 2). Die Grünschnelligkeit wurde mit dem Stimpmeter und die Neigung des Grüns mit einem digitalen Grünlaser (BreakMaster) bestimmt, die Windstärke wurde ebenfalls vorher aufgezeichnet. Die durchschnittliche Grünschnelligkeit wurde als mittelschnell (USGA/STIMPMETER T M) eingestuft ($6.53 \text{ Fuß} \pm 0.63$), das Grün neigte sich durchschnittlich $1.34 \text{ Grad} \pm 0.65$ von links nach rechts. Die Windgeschwindigkeit betrug laut einer Wetter-App im Durchschnitt ca. 14 km/h.

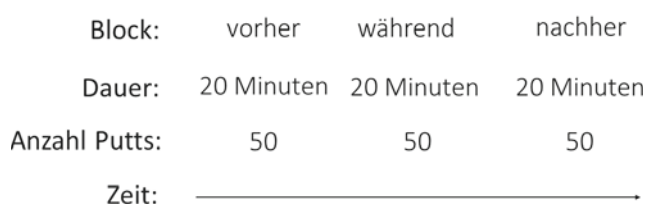


Abbildung 1. Zeitlicher Ablauf der Experimentalblöcke.

SAM Puttlab

Das SAM Puttlab ist ein Bewegungsaufzeichnungssystem, das aus einem Ultraschallsender (Triplex), der am Putter montiert wird, und einer Empfängereinheit, die auf dem Grün platziert wird, besteht (Abbildung 2). Das Triplex wurde 25 cm von der unteren Kante des Putter-Kopfes auf dem Schaft des Putters befestigt. Der Putter war ca. 50 cm von der Empfängereinheit entfernt. Der Empfänger hat eine Abtastfrequenz von 210 Hz und eine Fehlerrate von < 0.1 mm. Der maximale Abstand von 1.5 m zwischen der Empfängereinheit und dem Sender (Triplex) sollte nicht überschritten werden, da es dann zu Ungenauigkeiten bei der Aufzeichnung der Daten kommen kann (Marquardt, 2007). Vor jedem Experimentalblock wurde der Putter mit dem Triplex auf das 3.50 m entfernte Ziel (Loch) mit dem



Abbildung 2. Der Autor C.S. Herrmann beim Testen des SAM PuttLab. Man erkennt das an den Putter montierte Triplex und den Ultraschallempfänger auf dem Grün. Ebenfalls zu erkennen ist die Durchführung des Experimentes auf dem Grün eines Golfplatzes zur Erhöhung der ökologischen Validität im Vergleich zu einem Laborexperiment auf einem künstlichen Rasenteppich.

Laser Putting Alignment System Pro (Smart Golfer) kalibriert. Die Teilnehmer hatten die Möglichkeit, sich mit Probeputts an das neue zusätzliche Gewicht von 48 g zu gewöhnen (verursacht durch das Befestigen des Triplex am Putter). Das SAM Puttlab diente der Erfassung des Putt-Leistungsparameters „Wiederholbarkeit“, wie im nächsten Abschnitt näher beschrieben wird.

Abhängige Variablen

Wiederholbarkeit der Bewegungskonsequenz (Konsistenz): Dieses Maß dient der Beurteilung der Putt-Bewegungsqualität und wird während der Putts mithilfe des SAM Puttlabs aus verschiedenen Parametern extrahiert. Das Gerät berechnet über 70 Parameter der Putt-Bewegung, deren inferenzstatistische Auswertung nicht infrage kommt. Für acht dieser Parameter wurden sowohl Mittelwerte als auch die Varianzen von 99 Spieler_innen der Europäischen PGA Tour ausgewertet: Winkel zwischen Zielrichtung und Schlagfläche vor der Ausholbewegung und im Treffmoment, Abweichung der Schwungrichtung von der Zielrichtung, Winkel der Schlagfläche relativ zur Schwungrichtung, Rotation der Schlagfläche, Treffpunkt auf der Schlagfläche, Geschwindigkeit beim Ausholen, Geschwindigkeit im Treffmoment (Science & Motion, 2008). Für jeden dieser Parameter wurden Mittelwert und Varianz über die jeweils 50 Putts unserer Blöcke berechnet. Die Varianz wird von SAM Puttlab z-transformiert und mit der z-transformierten Varianz der PGA-Spieler verglichen, woraus sich ein Maß für die Konsistenz der Schlagbewegung ergibt, welches zwischen 0 und 100 % variiert (Marquardt, 2007). Eine Konsistenz von 75 % bedeutet, dass die individuelle Varianz eines Spielers innerhalb einer Standardabweichung der Verteilung der Varianzen der PGA-Spieler liegt und somit mindestens so gut ist wie 50 % dieser PGA-Spieler. Dieses Maß für Bewegungskonsistenz wurde vom SAM Puttlab über die acht oben genannten Parameter gemittelt und von uns für die statistische Analyse herangezogen.

Distanzkontrolle: Die Messung des Abstands zwischen Golfball (Titleist Pro V1 Golfbälle) und Loch nach jedem ausgeführten Putt wird als Maß des Bewegungsergebnisses herangezogen. Damit werden in dieser Studie sowohl die Bewegungskonsequenz (Wiederholbarkeit) als auch das Bewegungsergebnis (Distanzkontrolle) als abhängige Variablen berücksichtigt.

TACS-Parameter

Der transkranielle Wechselstrom wurde mithilfe eines mobilen Mehrkanal-Neurostimulators appliziert (StarStim 8, Neuroelectronics, Barcelona). Zur Stimulation des Motorkor-

tex wurden zwei mit Gel gefüllte Elektroden (2.3 cm Durchmesser) in einer elastischen, nichtleitfähigen Kappe an den EEG-Positionen C3 und C4 befestigt (Abbildung 3; Simulation der Stromverteilung, siehe Abbildung 4). Dies ist motiviert durch entsprechende Ergebnisse von Babiloni et al. (2008), die einen Zusammenhang zwischen Alpha-ERD an der Elektrodenposition C4 und erfolgreichen Putts gezeigt haben, was als der Putt-Leistung förderlicher Effekt auf die rechte Arm- und Handregion interpretiert wurde. In unserer Studie haben wir uns für eine beidseitige Montage entschieden, da das Putten eine beidhändige Aktivität darstellt. Im Anschluss an das Experiment füllten alle Probanden einen Fragebogen zur Erfassung möglicher Nebenwirkungen der Stimulation aus. Als Nebenwirkungen wurden aufgeführt: Kopfschmerzen, Nackenschmerzen, Schmerzen der Kopfhaut, Kribbeln, Jucken, Heißwerden,

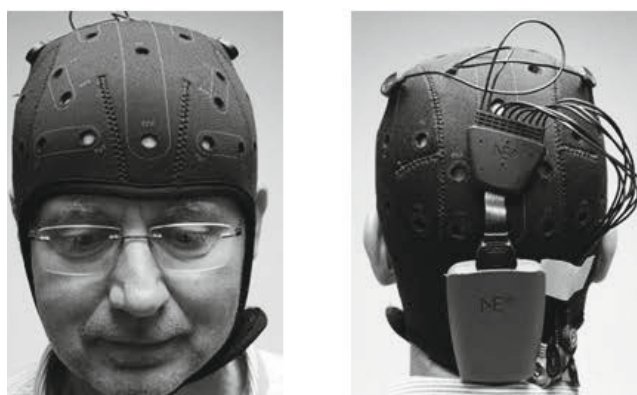


Abbildung 3. Der Autor U. Schäring demonstriert den für die Durchführung verwendeten mobilen Hirnstimulator mit Elektrodenhaube. Links: Position der Stimulationselektroden an den EEG-Positionen C3 und C4 über den beiden motorischen Kortexen. Rechts: Der mobile Stimulator ist hinten an der Haube befestigt.

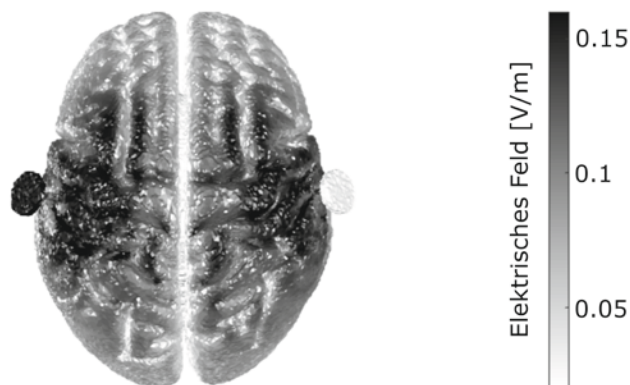


Abbildung 4. Simulation der Stromverteilung während tACS-Applizierung über Gelelektroden an den Positionen C3 und C4 (schwarze und weiße Kreisseibe). Der Graustufenverlauf visualisiert das aus der Stimulation resultierende elektrische Feld im Kortex während des zweiten Blocks (erstellt von Dr. Cindy Boetzel mit der Roast Tool Box).

Hautrötungen, Konzentrationsschwierigkeiten, Müdigkeit, Stimmungsschwankungen, Andere (bitte angeben).

Die Stimulation wurde mit einer Frequenz von 10 Hz über einen Zeitraum von maximal 25 Minuten appliziert (durchschnittliche Gesamtzeit für den Stimulationsblock $M = 19.27$ min; $SD = 3.98$). Um Hautempfindungen gering zu halten, wurde der Wechselstrom über einen Zeitraum von 3 Sekunden bis auf eine Stromstärke von 1 mA gesteigert, was einer Stromdichte von 0.32 mA/cm^2 in der Haut unter den Stimulationselektroden entspricht. Bei der Sham-Stimulation wurde ebenfalls ein 10 Hz-Wechselstrom mit ansteigender Intensität appliziert, der aber dann nach maximal 2 Minuten abgeschaltet wurde. Damit sollte ein Stimulations-Placeboeffekt hervorgerufen werden. Die Impedanzen wurden in allen Fällen unter $10 \text{ k}\Omega$ gehalten.

Statistik

Mithilfe von SPSS (Version 25) wurden statistische Vergleiche für die Putt-Leistungsparameter durch zweifaktorielle Varianzanalysen (ANOVAs) mit Messwiederholung untersucht und analysiert. Es wurden die Putt-Leistungsparameter „Wiederholbarkeit“ und „Distanzkontrolle“ als abhängige Variablen verwendet. Die Faktoren „Gruppe“ (EG, KG) und „Block“ (vorher, während, nachher) gingen als unabhängige Variablen in die Analyse ein. Für den Fall, dass mindestens ein signifikanter Haupteffekt und eine signifikante Interaktion auftreten, werden zusätzlich gepaarte t -Tests mit entsprechender Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Dabei soll statistisch überprüft werden, ob sich die Putt-Leistungsparameter Wiederholbarkeit und Distanzkontrolle über die Blöcke hinweg zwischen den Gruppen unterscheiden. Als Effektstärkenmaß wird das partielle Eta-Quadrat (η^2) berichtet.

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Putt-Leistungsparameter Distanzkontrolle und Wiederholbarkeit in der EG und KG für die drei Putt-Blöcke vor, während und nach der Stimulation. Für die Distanzkontrolle zeigt sich in beiden Probandengruppen eine Abnahme der Distanz zum Loch vom Block vor der Stimulation zum Block nach der Stimulation, wobei die Verbesserung der KG mit 8.65 cm fast doppelt so groß ist wie die der EG mit 4.58 cm. Auch für den Leistungsparameter Wiederholbarkeit zeigt sich für die KG beim Vorher-Nachher-Vergleich eine deutlichere Steigerung (8.14 %) als für die EG (4.67 %).

Die Ergebnisse der Varianzanalyse mit den Faktoren „Gruppe“ (EG, KG) und „Block“ (vorher, während, nachher) zeigen für den Leistungsparameter Distanzkontrolle einen signifikanten Haupteffekt „Block“ ($F_{(2,56)} = 11.13$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.29$), während für den zweiten Faktor „Gruppe“ ($F_{(1,28)} = 0.90$; $p = .351$; $\eta^2 = 0.03$) sowie für die Interaktion „Gruppe“ x „Block“ ($F_{(2,56)} = 0.90$; $p = .410$; $\eta^2 = 0.03$) kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden konnte (Abbildung 5). Dieses Ergebnis zeigt eine signifikante Abnahme der Distanz zum Loch über die Zeit an, die unabhängig von der Stimulation in beiden Gruppen aufgetreten ist und somit als reiner Trainingseffekt interpretiert werden kann.

Ein signifikanter Haupteffekt „Block“ ($F_{(2,56)} = 9.44$; $p < .01$; $\eta^2 = 0.41$) zeigt sich auch für den Parameter Wiederholbarkeit (Abbildung 6). Zusätzlich findet sich eine Signifikanz im Faktor „Gruppe“ ($F_{(1,28)} = 4.75$; $p = .038$; $\eta^2 = 0.145$). Die Interaktion „Block“ x „Gruppe“ ($F_{(2,56)} = 0.94$; $p = .398$; $\eta^2 = 0.032$) weist auch für diesen Parameter keinen signifikanten Unterschied auf.

Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass eine Stimulation mit 10 Hz-tACS keine Verbesserung der Putt-Leistungsparameter Wiederholbarkeit und Distanz-

kontrolle bewirkt. Vielmehr findet sich für beide Parameter ein Übungseffekt über die Zeit.

Bei der Auswertung der Fragebögen zu den Nebenwirkungen der Stimulation ergab sich, dass lediglich ein leichtes Kribbeln (17 von 30 Pbn), Jucken (3 von 30) und Heißwerden (1 von 30) unter den Stimulationselektroden sowie Konzentrationsschwierigkeiten (4 von 30), Stimmungsschwankungen (2 von 30) und Müdigkeit (1 von 30) empfunden wurde. Hierbei fand sich für keine der getesteten Nebenwirkungen ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (tACS vs. Sham-Stimulation, alle $p > .16$).

Diskussion

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von Alpha-tACS über dem motorischen Kortex auf die Putt-Leistung zu untersuchen. Unsere Hypothese, dass sich tACS sowohl auf die Distanzkontrolle als auch auf die Wiederholbarkeit positiv auswirkt, konnte nicht bestätigt werden. Zwar hat sich die Putt-Leistung für beide Parameter über die drei Blöcke hinweg signifikant verbessert, allerdings trat dieser

Tabelle 1. Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) beider Gruppen (EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe) für die Putt-Leistungsparameter Distanzkontrolle (Distanz zum Loch in Zentimeter) und Wiederholbarkeit (in Prozent) getrennt nach Blöcken vor, während und nach der Stimulation (vorher, während, nachher)

Leistungsparameter	Gruppen	vorher MW	SD	während MW	SD	nachher MW	SD	N
Distanzkontrolle (cm)	EG	26.93	11.67	22.44	11.95	22.35	9.81	15
	KG	26.35	5.84	19.28	8.58	17.70	6.86	15
Wiederholbarkeit (%)	EG	31.33	7.79	35.07	7.31	36.00	10.22	15
	KG	36.73	10.12	41.61	11.79	44.87	9.81	15

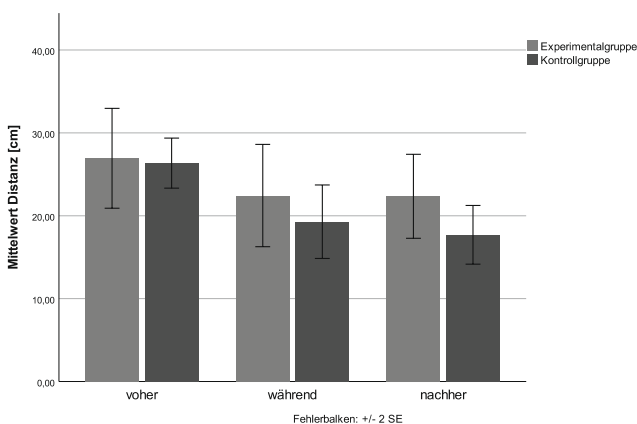


Abbildung 5. Mittelwerte des Putt-Leistungsparameters Distanzkontrolle (cm) im Gruppenvergleich.

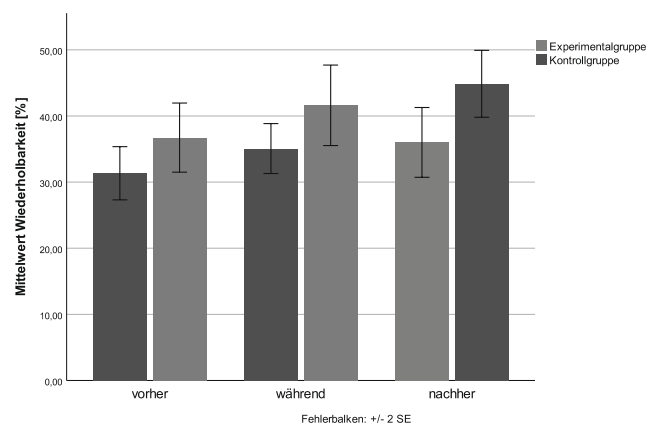


Abbildung 6. Mittelwerte des Putt-Leistungsparameters Wiederholbarkeit (%) im Gruppenvergleich.

Effekt stimulationsunabhängig in beiden Versuchsgruppen auf, was für einen reinen Übungseffekt spricht.

Das Auftreten von Übungseffekten erscheint in der vorliegenden Studie in Anbetracht der Gesamtversuchszeit von ca. einer Stunde mit 150 gespielten Putts pro Teilnehmer plausibel. Übungsabhängige Effekte wurden beispielsweise auch bei Golfanfängern (Bezzola, Mérillat, Gaser & Jäncke, 2011) und bei Fortgeschrittenen (Jäncke, Koeneke, Hoppe, Rominger & Hänggi, 2009) in Form einer Zunahme der grauen Substanz relevanter Kortexareale beobachtet. Im Falle von Übungseffekten hätte eine mögliche Auswirkung von tACS darin bestehen können, diese Effekte noch weiter zu verstärken und dadurch einen positiven tACS-Einfluss auf die Putt-Leistung zu generieren. Dafür finden sich in der vorliegenden Studie allerdings keinerlei Hinweise, da der Übungseffekt für beide Parameter – zumindest rein deskriptiv – in der Gruppe mit Sham-Stimulation sogar etwas stärker ausgeprägt zu sein scheint als in der tACS-Gruppe. Ob dieses Ausbleiben eines Verhaltens-effekts mit einer ebenfalls ausgebliebenen Modulation der Alpha-Aktivität einhergeht, kann aufgrund fehlender EEG-Messungen hier nicht weiter überprüft werden. Dazu sollte in zukünftigen Studien ein Vergleich des EEGs vor und nach der Stimulation durchgeführt werden.

Literatur

- Amouzadeh, F. & Sheikh, M. (2022). Impact of transcranial alternating current stimulation on working memory and selective attention in athletes with attention deficit hyperactivity disorder: Randomized controlled trial. *Neuroreport*, 33, 756–762.
- Antal, A. & Herrmann, C.S. (2016). Transcranial alternating current and random noise stimulation: Possible mechanisms. *Neural Plasticity*, 2016(19), 1–12.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Iacononi, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N. et al. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *Journal of Physiology*, 586, 131–139.
- Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H. & Weiss, M. (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 625–631.
- Berger, A., Pixa, N.H., Steinberg, F. & Doppelmayr, M. (2018). Brain oscillatory and hemodynamic activity in a bimanual coordination task following transcranial alternating current stimulation (tACS): A combined EEG-fNIRS study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, 67.
- Bezzola, L., Mérillat, S., Gaser, C. & Jäncke, L. (2011). Training-induced neural plasticity in golf novices. *Journal of Neuroscience*, 31, 12444–12448.
- Cheng, M.-Y., Huang, C.-J., Chang, Y.-K., Koester, D., Schack, T. & Hung, T.-M. (2015). Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 37, 626–636.
- Cooke, A. (2013). Readyng the head and steadying the heart: A review of cortical and cardiac studies of preparation for action in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6, 122–138.
- Crews, D.J. & Landers, D.M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 116–26.
- de Albuquerque, L.L., Fischer, K.M., Pauls, A.L., Pantovic, M., Guadagnoli, M.A., Riley, Z.A. et al. (2019). An acute application of transcranial random noise stimulation does not enhance motor skill acquisition or retention in a golf putting task. *Human Movement Science*, 66, 241–248.
- Doppelmayr, M.M., Klimesch, W., Pachinger, T. & Ripper, B. (1998). The functional significance of absolute power with respect to event-related desynchronization. *Brain Topography*, 11, 133–140.
- Fröhlich, F., Sellers, K.K. & Cordle, A.L. (2015). Targeting the neurophysiology of cognitive systems with transcranial alternating current stimulation. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 15, 145–67.
- Gallicchio, G., Cooke, A. & Ring, C. (2017). Practice makes efficient: Cortical alpha oscillations are associated with improved golf putting performance. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 6, 89–102.
- Giustiniani, A., Battaglia, G., Messina, G., Morello, H., Guastella, S., Iovane, A. et al. (2021). Transcranial alternating current stimulation (tACS) does not affect sports people's explosive power: A pilot study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 640609.
- Harris, D., Wilson, M., Buckingham, G. & Vine, S. (2019). No effect of transcranial direct current stimulation of frontal, motor or visual cortex on performance of a self-paced visuomotor skill. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 368–373.
- Herrmann, C.S., Rach, S., Neuling, T. & Strüber, D. (2013). Transcranial alternating current stimulation: a review of the underlying mechanisms and modulation of cognitive processes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 279.
- Herrmann, C.S. & Strüber, D. (2017). What can transcranial alternating current stimulation tell us about brain oscillations? *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 4, 128–137.
- Herrmann, C.S., Strüber, D., Helfrich, R.F. & Engel, A.K. (2016). EEG oscillations: From correlation to causality. *International Journal of Psychophysiology*, 103, 12–21.
- Jäncke, L., Koeneke, S., Hoppe, A., Rominger, C. & Hänggi, J. (2009). The architecture of the golfer's brain. *PLoS One*, 4, e4785.
- Kasten, F.H. & Herrmann, C.S. (2017). Transcranial alternating current stimulation (tACS) enhances mental rotation performance during and after stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 2.
- Land, W.M., Tenenbaum, G., Ward, P. & Marquardt, C. (2013). Examination of visual information as a mediator of external focus benefits. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 35, 250–259.
- Marquardt, C. (2007). The SAM PuttLab: Concept and PGA tour data. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2(1 suppl), 101–120.
- Marquardt, C. (2009). The vicious circle involved in the development of the yips. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 4, 67–88.
- Min, B.-K., Busch, N.A., Debener, S., Kranczioch, C., Hanslmayr, S., Engel, A.K. et al. (2007). The best of both worlds: Phase-reset of human EEG alpha activity and additive power contribute to ERP generation. *International Journal of Psychophysiology*, 65, 58–68.
- Muangjaroen, P. & Wongsawat, Y. (2012). Real-time index for predicting successful golf putting motion using multichannel EEG. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2012, 4796–4799.
- Neuper, C. & Pfurtscheller, G. (1992). Event-related negativity and alpha band desynchronization in motor reactions. *EEG-EMG Zeitschrift für Elektroenzephalographie, Elektromyographie und verwandte Gebiete*, 23, 55–61.

- Paulus, W. (2011). Transcranial electrical stimulation (tES – tDCS; tRNS, tACS) methods. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21, 602–617.
- Pelz, D. (1991). *Putt like the pros: Dave Pelz's scientific guide to improving*. New York: Harper Collins.
- Pfurtscheller, G. & Berghold, A. (1989). Patterns of cortical activation during planning of voluntary movement. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 72, 250–258.
- Pfurtscheller, G. & Lopes da Silva, F.H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: Basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1842–1857.
- Pfurtscheller, G., Neuper, C. & Krausz, G. (2000). Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1873–1879.
- Science & Motion. (2008). SAM PuttLab reports manual.
- Strüber, D. & Herrmann, C.S. (2020). Modulation of gamma oscillations as a possible therapeutic tool for neuropsychiatric diseases: A review and perspective. *International Journal of Psychophysiology*, 152, 15–25.
- Toner, J. & Moran, A. (2011). The effects of conscious processing on golf putting proficiency and kinematics. *Journal of Sports Sciences*, 29, 673–683.
- Veniero, D., Strüber, D., Thut, G. & Herrmann, C.S. (2019). Noninvasive brain stimulation techniques can modulate cognitive processing. *Organizational Research Methods*, 22, 116–147.
- Vosskuhl, J., Strüber, D. & Herrmann, C.S. (2015). Transkranielle Wechselstromstimulation: Entrainment und Funktionssteuerung neuronaler Netze. *Der Nervenarzt*, 86, 1516–1522.
- Vosskuhl, J., Strüber, D. & Herrmann, C.S. (2018). Non-invasive brain stimulation: A paradigm shift in understanding brain oscillations. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 211.
- Zhu, F.F., Yeung, A.Y., Poolton, J.M., Lee, T.M.C., Leung, G.K.K. & Masters, R.S.W. (2015). Cathodal transcranial direct current stimulation over left dorsolateral prefrontal cortex area promotes implicit motor learning in a golf putting task. *Brain Stimulation*, 8, 784–786.

Danksagung

Wir danken Merle Bednarczyk für ihre Unterstützung bei Messungen auf dem Golfplatz.

Historie

Manuskript eingereicht: 9. Februar 2023

Nach Revision angenommen: 16. Mai 2023

Interessenkonflikte


Christoph Herrmann ist Inhaber eines Patents für elektrische Hirnstimulation. Ulrich Schäring arbeitet als PGA Golf Professional.

Förderung

Open-Access-Veröffentlichung ermöglicht durch die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

ORCID

Christoph S. Herrmann

 <https://orcid.org/0000-0003-0323-2272>

Prof. Dr. Christoph Herrmann

Carl-von-Ossietzky Universität
Ammerländer Heerstr. 114–118
26111 Oldenburg
Deutschland

christoph.herrmann@uni-oldenburg.de