

„Surround Inhibition“ im motorischen System mit präzisen Fingerbewegungen

**Masterarbeit zur Erlangung des Masters in Bewegungs- und Sportwissenschaften,
Departement für Medizin, Universität Freiburg**

Autorin: Anita Marti

Referent: Prof. Dr. Wolfgang Taube

Korreferent: Dipl. Ass. Martin Keller

August 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Einführung in das Thema	5
1.2	Hintergrund und Ausgangslage	6
1.2.1	Anpassungen des Körpers auf Training	6
1.2.2	Wie ist Bewegung im Zentralen Nervensystem (ZNS) organisiert und welche Areale sind beteiligt?	6
1.2.3	Anpassungen des Nervensystems durch Musik	11
1.2.4	Der Effekt von Musiktraing mittels mentaler Technik auf den M1	14
1.2.5	Was ist Surround Inhibition (SI)?	19
1.2.6	Gibt es SI in der Motorik?	20
1.2.7	Anwendung von TMS zur Erforschung der SI	20
1.2.8	SI und Training	20
1.2.9	Krankhafte Veränderungen- Fokale Dystonie (FD)	27
1.2.10	SI und krankhafte Veränderungen sowie Unterschiede in den Bewegungsphasen	31
1.2.11	Musiktraing und FHD (focal hand dystonia)	33
1.3	Ziel und konkrete Fragestellung oder Hypothesen	36
2	Methode	37
2.1	Untersuchungsanordnung	37
2.2	Untersuchungsablauf	41
2.3	Untersuchungsgruppe	44
2.4	Untersuchungsinstrumente	44
2.5	Untersuchungsauswertung	45
3	Resultate	46
3.1	Auswertung «Single Finger Condition»	47
3.1.1	Messung der SI in FDI und ADM bei Triggerung auf APB	47

3.1.2	Messung der SI in FDI und APB bei Triggerung auf ADM	49
3.1.3	Messung der SI in APB und ADM bei Triggerung auf FDI	51
3.1.4	Statistik der «Single Finger Condition»	53
3.2	Auswertung «Two Finger Condition»	54
3.2.1	Messung der SI in FDI bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM	54
3.2.2	Messung der SI in APB bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM	55
3.2.3	Messung der SI in ADM bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM	56
3.2.4	Statistik der «Two Finger Condition»	57
4	Diskussion und Schlussfolgerungen	58
4.1.1	Studien, die eine Veränderte SI erwarten lassen	58
4.1.2	Vergleiche der Untersuchungsbedingungen	61
4.1.3	Vergleiche der Untersuchungsgruppen	63
4.1.4	Stärken und Schwächen	65
4.1.5	Schlussfolgerungen	65
5	Anhang	74

Zusammenfassung

Hintergrund und Ausgangslage: Die Surround Inhibition (SI) ist im Bereich des sensorischen Systems bestens bekannt. Im Bereich der Motorik weiss man, dass die SI dazu dient, motorische Reaktionen zu steuern. Die SI kann trainiert werden. Mehrere Studien zeigen eine veränderte SI nach Training. Bei Pianisten, die jahrelang trainiert haben, kann es zu einer fokalen Hand Dystonie (FHD) kommen. Bei FHD Patienten ist keine SI festzustellen.“ Beck et al. (2008).

Konkrete Fragestellung: Ziel der Studie ist es, erstmals an einer funktionellen Aufgabe am Piano die SI von Pianisten und Nicht-Pianisten zu messen.

Methode: Es wurden zwölf Musiker und dreizehn Nicht-Musiker getestet. Die Aufgabe am Piano bestand aus einem dreiteiligen Fingerabfolgenprogramm. Es wurde in zwei Phasen der Bewegung (Pereperation, Phasic) mit transkranieller Magnetstimulation über den kontralateralen Motorcortex stimuliert und die Motor Evoked Potentials an den entsprechend nicht beteiligten Fingermuskulaturen gemessen. Dazu wurde auch immer ein Hintergrund Elektromyogramm erstellt.

Resultate: Die Resultate der Studie zeigen, dass sich die SI bei Pianisten und Nicht-Pianisten, bei einer komplexen motorischen Fingerbewegungsaufgabe am Piano, statistisch nicht-signifikant unterscheiden.

Diskussion und Schlussfolgerungen: In dieser Studie führte die funktionelle Bewegungsaufgabe unter den Messbedingungen 450ms (Preperation) vermutlich zu Variabilitäten des Triggerzeitpunktes in Bezug auf die Bewegungsphase. Die Resultate der Kontrollgruppe werfen in dieser Studie die Frage auf, ob das regelmässige Benutzen einer Tastatur und die damit verbundene Erhöhung der Fingerkoordination, einen Einfluss auf die gemessenen Daten haben könnten.

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

Braucht ein Skirennfahrer einen grossen Muskel, so weiss jeder, was zu tun ist- trainieren. Der Effekt, dass ein Muskel durch Training vergrössert werden kann, ist bekannt. Was passiert jedoch, wenn ein Pianist täglich mehrere Stunden am Tag mit seinen Fingern über die Tasten gleitet? Er wird bestimmt besser Piano spielen können, aber seine Fingermuskeln werden nicht grösser. Denn was sich verändert, ist seine Fingerkoordination. Es gibt Musiker auf Experten-Niveau, welche plötzlich durch eine Art von Dystonie aus ihrem Beruf gerissen werden. Die fokale Handdystonie (FHD), oder auch Musikerkrampf genannt, verunmöglicht das Spielen, so wie dies vor der Erkrankung möglich war. Man weiss, dass diese Musiker eine veränderte SI im Vergleich zu gesunden Spielern haben. Die SI ist ein Phänomen welches noch Gegenstand der aktuellen Forschung ist. Einfach gesagt, werden durch die SI Muskeln vom Körper aktiv gehemmt, um nicht zu stören. Dies ist auch der Fall bei den Fingerbewegungen beim Piano spielen. Die SI kann trainiert werden. Jedoch stellt sich die Frage, was passiert mit der SI bei Pianisten die jahrelang trainiert haben, aber nicht an einer FHD erkrankt sind? Die vorliegende Studie misst erstmals die SI an einer funktionellen Aufgabe am Piano.

1.2 Hintergrund und Ausgangslage

1.2.1 Anpassungen des Körpers auf Training

Obwohl die SI noch nicht vollständig erforscht ist, ist das Phänomen in der Wissenschaft anerkannt. Die SI wird in einem weiter hinten aufgeführten Kapitel näher erklärt.

Um die SI zu verstehen, macht es Sinn, sich mit den strukturellen Veränderungen des Körpers, insbesondere des Hirns, durch Training zu befassen. Die Anpassungen des Körpers auf Bewegung und Training sind vielschichtig. Die Anpassungen des Nervensystems durch Bewegung und Training auf kortikaler Ebene ist mehrfach untersucht und immer noch Gegenstand der Forschung. Werfen wir einen Blick auf normale Anpassungen des Körpers bei Bewegungen und Training.

Das Herz-Kreislauf-System hat die Aufgabe, den Organismus in jeder Situation seiner Beanspruchung ausreichend mit Blut zu versorgen. Es sichert das Überleben des Organismus, indem er den Stoffwechsel jeder einzelnen Körperzelle versorgt und die chemischen und physiologischen Eigenschaften der Körperflüssigkeiten aufrechterhält. Durch den Bluttransport zu den Organen werden diese ununterbrochen mit Sauerstoff, Energieträgern und Wirkstoffen (Hormonen) versorgt. Zugleich werden Stoffwechselabbauprodukte und Kohlensäure aus den Organen und besonders der Muskulatur abtransportiert. *Einführung in die Sportsprache*, Zugriff am 19.7.2013, unter <http://www.onmeda.de>

Also der Körper, insbesondere das Hirn, wird mit mehr Blut versorgt. Die Anpassung der Muskulatur auf Trainingsreize erfolgt beispielsweise mit einer Verbesserung der Inter- oder Intramuskulären Koordination. Oder mit einer Zunahme der Muskelmasse. Das heisst der Muskel wird grösser.

1.2.2 Wie ist Bewegung im Zentralen Nervensystem (ZNS) organisiert und welche Areale sind beteiligt?

Das Hirn, beziehungsweise das Nervensystem, die Steuerzentrale des Menschen, ist ein komplexes Gebilde. Das Nervensystem unterscheidet sich in das Zentralnervensystem und das Periphere Nervensystem. Das Periphere Nervensystem setzt sich aus dem sym-

pathischen und dem parasympathischen System zusammen. Zum zentralen Nervensystem gehören Gehirn und Rückenmark. Hier werden alle wesentlichen Informationen von der Peripherie verarbeitet, Bewegungen und Empfindungen sowie Stellung, Haltung und Gleichgewicht des Körpers geregelt. Von hier aus entspringen die peripheren Nerven, Hirn- und Rückenmarksnerven, die zu den einzelnen Körperteilen verlaufen.

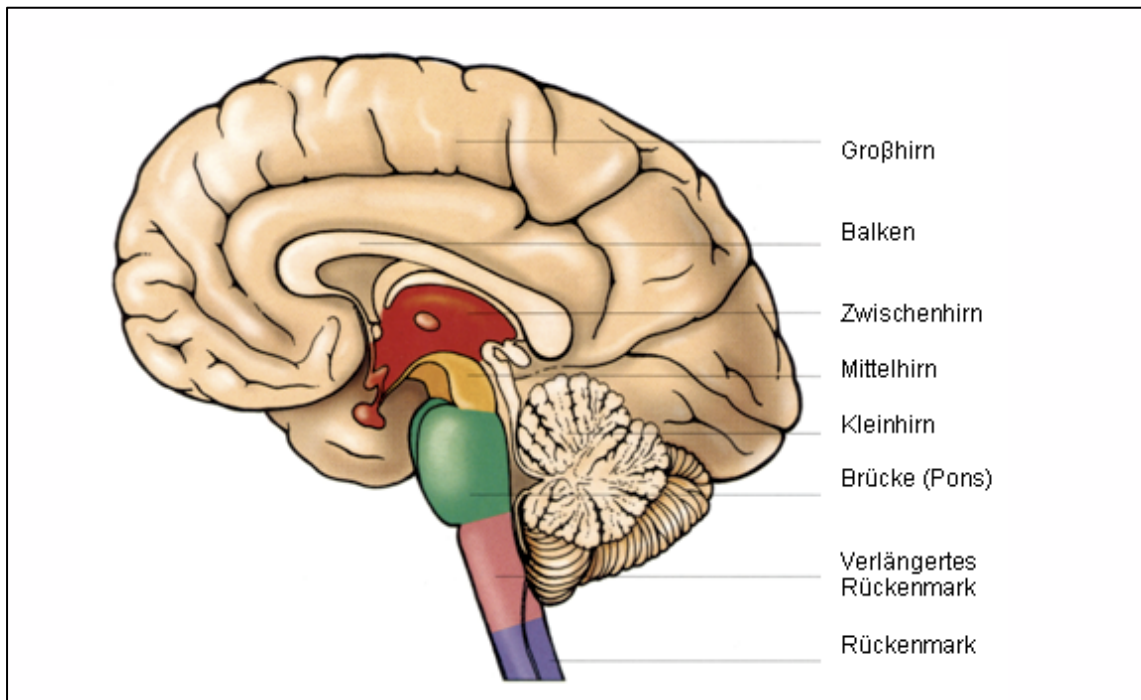


Abb. 1: Gehirn

Das periphere Nervensystem vermittelt Reize, die willkürlich ausgelöst werden können und bewusst empfunden werden. Es besteht aus afferenten und efferenten Nervenbahnen. Als Efferenzen werden diejenigen bezeichnet, die Erregung vom Zentralnervensystem zu bestimmten Organen, Drüsen, Muskeln usw. leiten. Diejenigen, die Signale von der Peripherie zum Zentralnervensystem leiten, nennt man Afferenzen.

Das vegetative Nervensystem regelt vegetative Lebensfunktionen wie Atmung, Verdauung, Stoffwechsel, Sekretion, Fortpflanzung u. a., die sich in der Regel ohne unser Bewusstsein und ohne unseren Willen vollziehen. Da dieses eine gewisse funktionelle Selbstständigkeit besitzt, wird es auch als autonomes Nervensystem bezeichnet. Das ZNS ist im besonderen Maße interessant, da es sehr komplex ist und bezüglich Hirnfunktionen noch nicht alle Fragen geklärt sind.

Auf der Grosshirnrinde (Cortex) befinden sich die sogenannten sensorischen Rindenfelder. Jeder Körperteil ist in ihren afferenten Nervenbahnen an einem bestimmten Teil auf der Grosshirnrinde besonders stark repräsentiert. Werden willkürliche Bewegungen trainiert, so verändert sich auch im Hirn das entsprechende Rindenfeld in seiner Grösse.

Die Basalganglien regulieren die Motorik. Sie bewirken eine feine Abstimmung der Bewegungsimpulse, die im Assoziationskortex entworfen werden. Zu den Basalganglien zählen das Striatum (bestehend aus dem Nucleus caudatus und dem Putamen), der Globus pallidus internus und externus, die Substantia nigra und der Nucleus subthalamicus.

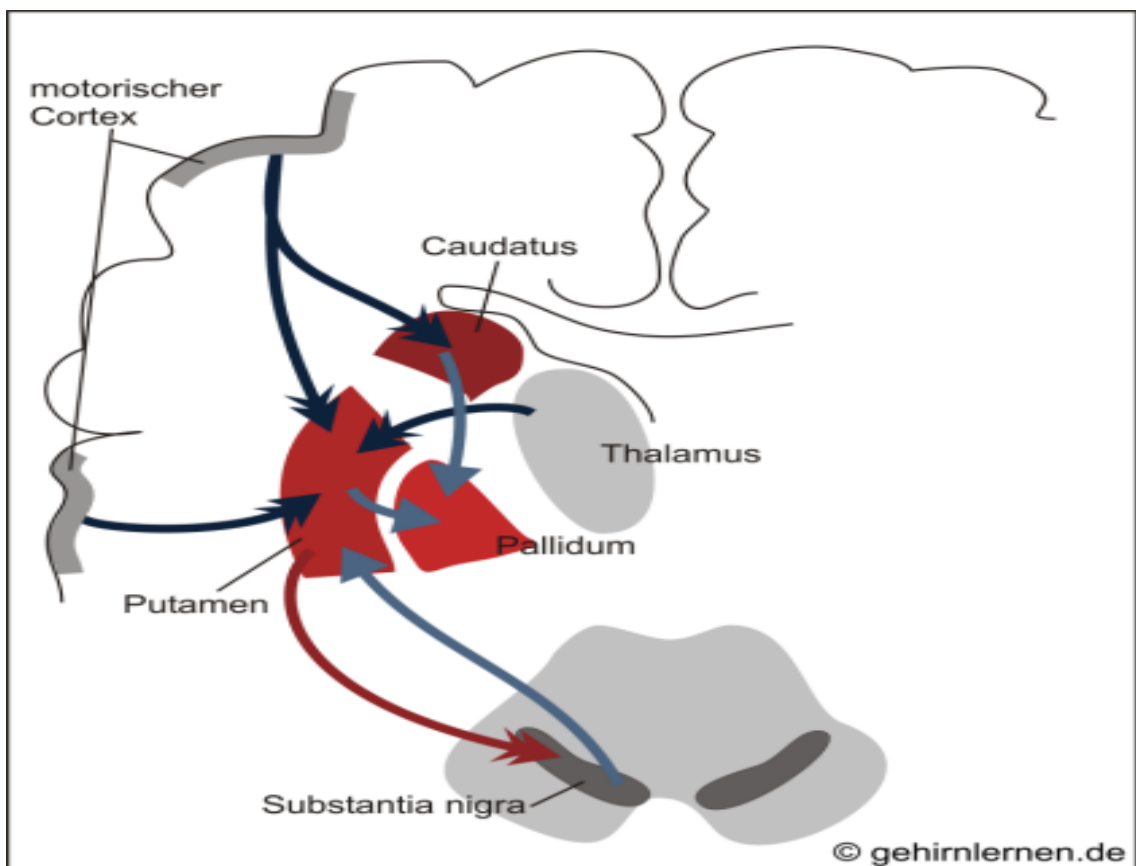
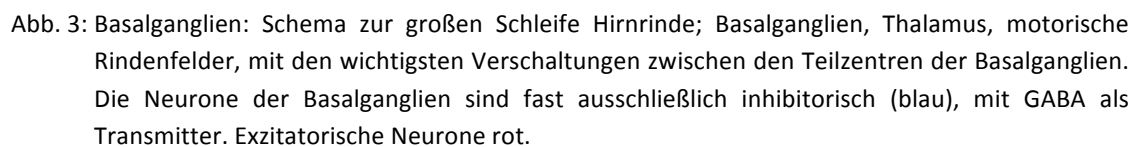


Abb. 2: Verschaltung der Basalganglien

(Alexander und Crutcher 1990) und später auch (Mink 1996) beschreiben den Aufbau der Basalganglien als *center-surround* Modell mit einem direkten exzitatorischen und einem indirekten inhibitorischen Weg. Der direkte Weg (center) läuft vom Striatum



9

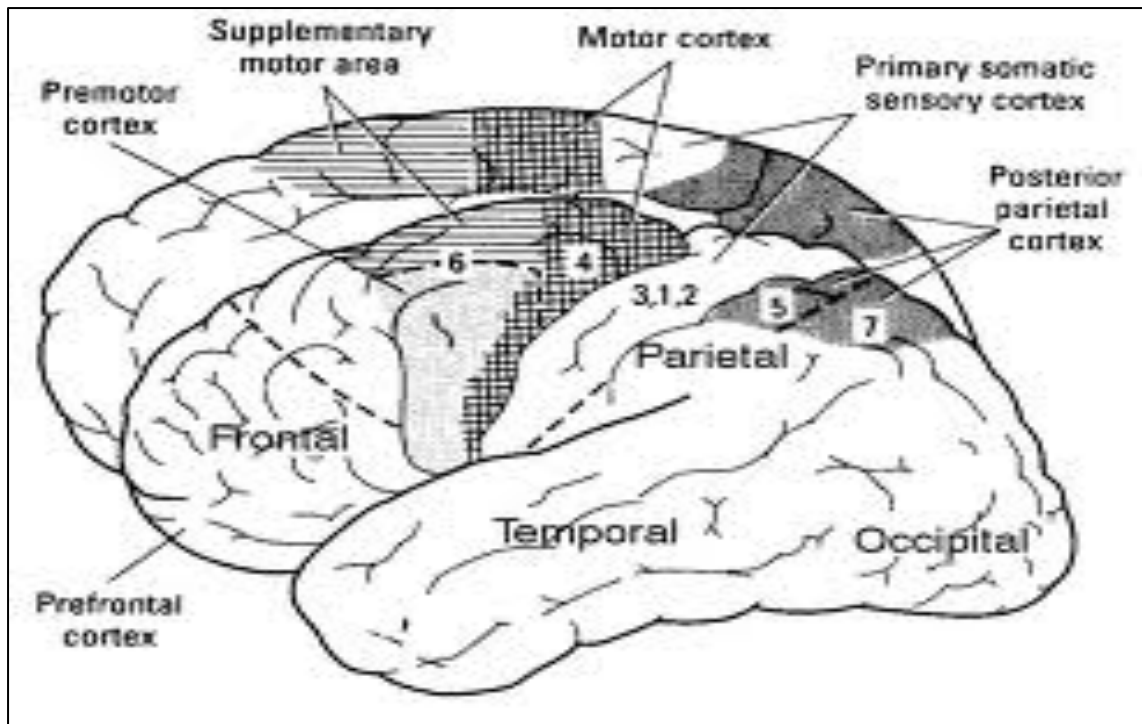


Abb. 4: Hirnareale

So wird die Bewegung im prämotorischen Kortex geplant, im supplementärmotorischen Kortex wird bei komplexeren Abläufen z. B. das Zusammenspiel beider Hände koordiniert. Der cingulär motorische Kortex ist eng mit dem limbischen System verknüpft, welches, wie bereits erwähnt, für die Verarbeitung von Emotionen verantwortlich ist. Bevor dies Bewegungsimpulse aus den sekundär motorischen Kortexen jetzt aber über den Thalamus an den primär motorischen Kortex und dann weiter an die Motoneurone zur tatsächlichen Ausführung der Bewegung durch die Muskeln weitergeschickt werden, bedarf es einer Rückmeldung aus den Basalganglien und dem Kleinhirn. Diese stehen ebenfalls mit dem Thalamus in Verbindung. In der Zwischenzeit befindet sich der Bewegungsimpuls in einer kortiko-thalamo-kortikalen Warteschleife. Das Kleinhirn ist für feinmotorische Abstimmungen und den richtigen Ablauf einzelner Bewegungen hintereinander verantwortlich. Liegen hier Störungen vor, resultiert dies meist in einer Ataxie. Die Basalganglien funktionieren entweder bahnend oder hemmend. Sie entscheiden, ob eine Bewegung sinnvoll und situationsgerecht ist. Sie sind unabdingbar für jede Art von willkürlicher Bewegung. Sie steuern Ausmaß, Richtung, Kraft Geschwindigkeit einer Bewegung (Trepel 2004). Liegen in ihnen Veränderungen

vor, resultiert dies in Hypo- bzw. Hyperkinesien, zu denen auch der Formenkreis der Dystonien zählt. (Weidenmüller M. 2010, S. 10).

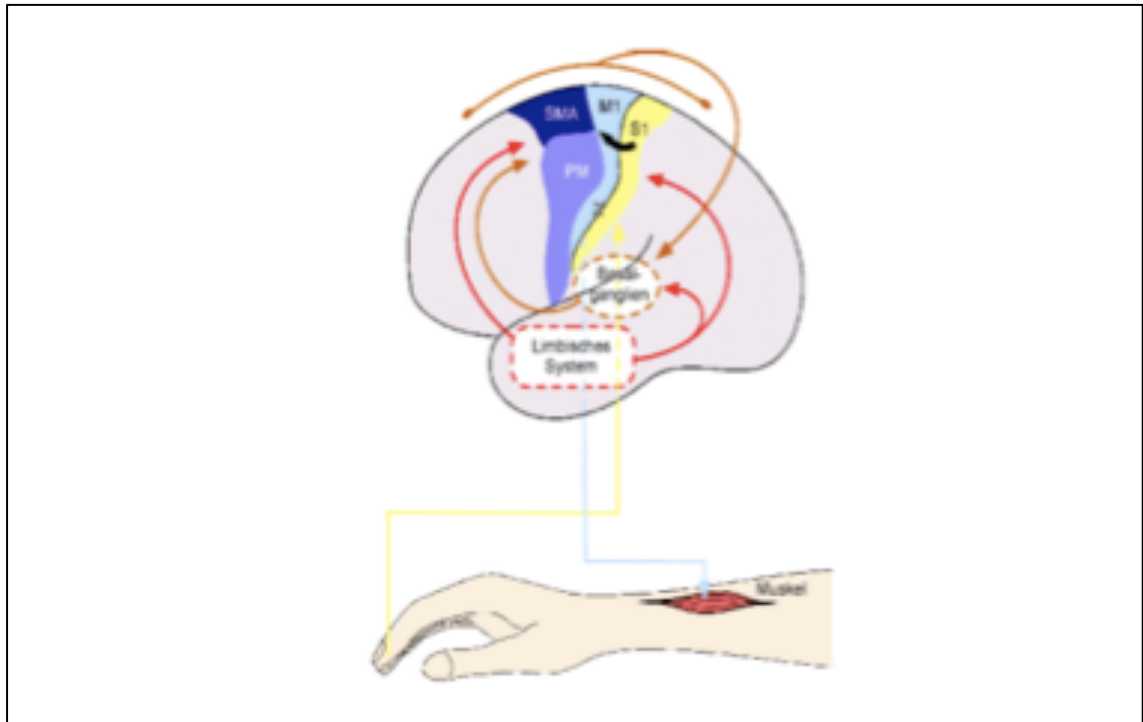


Abb. 5: Sensomotorik, limbisches System und die Basalganglien stehen in Verbindung und beeinflussen einander.

1.2.3 Anpassungen des Nervensystems durch Musik

Eckart Altenmüller schreibt in einem Bericht mit dem Titel : »Es ist nie zu spät : Zu den neuronalen Auswirkungen musikalischen Lernens im Erwachsenenalter « für das Musikforum 1, 2008, Interessantes.

Unbestritten ist, dass Musizieren nahezu alle Hirnareale beansprucht und diese miteinander vernetzt. Sensomotorische, auditive und visuelle Regionen tragen in Wechselwirkung, mit dem die Emotionen verarbeitenden limbischen System, zu dieser Leistung bei. Die hierarchisch übergeordneten Zentren des Stirnhirnlappens sind an der Planung und Kontrolle der Bewegungsabläufe, an der Steuerung der Aufmerksamkeit und an der Auswertung des Bewegungserfolges stets beteiligt. (E. Altenmüller, Musikforum 1, 2008, S. 3)

Musizieren gilt dabei als starker Anreiz für plastische Veränderungen des Zentral-

nervensystems. Unter dem Begriff der Neuroplastizität versteht man die funktionelle und strukturelle Anpassung des Nervensystems an Spezialanforderungen, wie sie das Musizieren mit sich bringt. Plastische Anpassungen treten dann auf, wenn relevante und komplexe Reize über einen längeren Zeitraum meist unter Zeitdruck verarbeitet werden müssen, und wenn der verarbeitende Organismus – in unserem Fall das musizierende Individuum – hoch motiviert ist und unter Umständen sogar Glückshormone ausschüttet. Neuroplastizität kann in allen Zeitbereichen und Lebensaltern beobachtet werden und begleitet kurz- und langfristige Lernvorgänge. Die Mechanismen der Plastizität schließen rasche Veränderungen der Signalübertragung an den Nervendknöpfchen (Synapsen) im Sekundenbereich ein, äussern sich aber auch im Wachstum von Synapsen und Nervenzellfortsätzen (Dendriten), das Stunden bis Tage dauert. Auch eine verstärkte Bemarkung der Nervenzellfortsätze mit Beschleunigung der neuronalen Signalübertragung findet als Anpassung des Nervensystems statt. Dies benötigt allerdings Wochen bis Monate. Das verringerte (physiologische) Absterben von Nervenzellen, die in die wichtigen Schaltkreise eingebunden sind, ist ein weiterer langfristiger plastischer Anpassungsvorgang des Nervensystems. Begleitet werden all diese Veränderungen von einer vermehrten Bildung von Blutkapillaren, um die aktivierten Nervenzellen mit Sauerstoff zu versorgen. Darüber hinaus bilden sich Stützgewebe, um die Infrastruktur des Nervensystems zu verbessern und um die Bereitstellung von Nährstoffen und den Abtransport von Stoffwechselabbauprodukten zu sichern. »Man liegt also nicht falsch, wenn man die Anpassungen des Nervensystems an geistiges Training mit den Anpassungsvorgängen der Muskulatur an körperliches Training vergleicht.« Altenmüller E., Musikforum 1, 2008, S. 4

Alvarro Pascual-Leon ist einer der führenden Gehirnforscher. Er arbeitete bei einer seiner Studien, *The Brain that Plays Music and is Changed by It*, 2001, mit einer Gruppe Nicht-Pianisten. Das Ziel des Experiments war, den Erwerb von Fähigkeiten mit den Veränderungen im motorischen und sensorischen Cortex in Verbindung zu setzen.

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, über einen Zeitraum von fünf Tagen (beziehungsweise fünf Wochen: Gruppe 1 trainierte nach der ersten Woche vier Wochen weiter, Gruppe 2 hatte nicht mehr trainiert) eine Fingerabfolge von allen fünf Fingern der rechten Hand am Piano zu trainieren.

Bei seiner Studie benutzte er TMS um die Grösse der sensorischen und motorischen Rindenfelder des Zeigefingers (D2) und Mittelfingers (D3) bilateral auf dem Cortex zu orten (Cortical Mapping). Das Cortical Mapping wurde täglich 20 Minuten nach dem Training wiederholt, und mit der ersten Ortung (Baseline Mapping), die vor dem ersten Training gemacht wurde, verglichen.

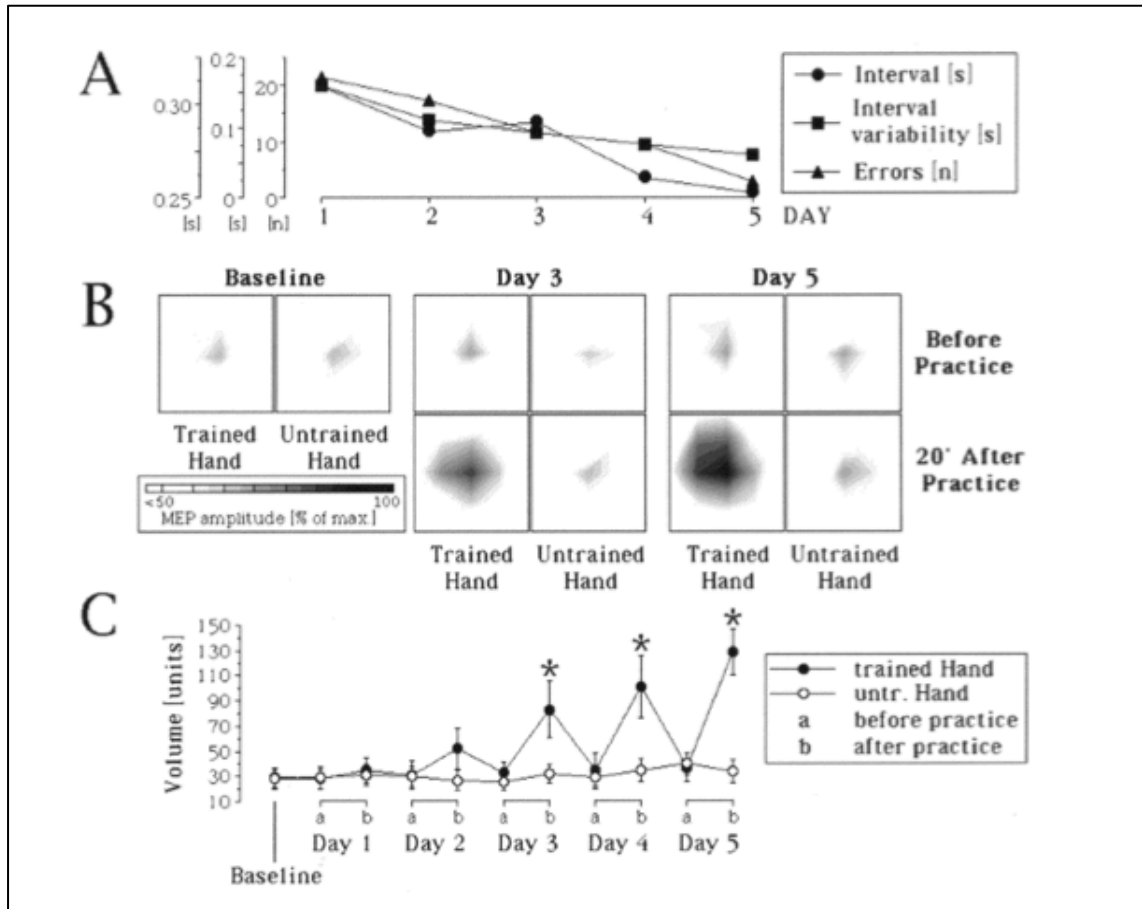


Abb. 6: (A) Resultate der einwöchigen Praxis der fünf-Finger-Übung auf dem Piano. Alle gemessenen Parameter, Intervall zwischen Tastendrücken, Variabilität dieser Intervalle und die Anzahl der Fehler in 20 Wiederholungen der Übung, zeigen eine hochsignifikante Abnahme. (B) Darstellung der Grösse der motorischen Rindenfelder auf dem Cortex der trainierten und untrainierten Hand (bzw. Fingerbeuger). Die Daten zeigen einen repräsentativen Probanden. Dargestellt sind die Baseline sowie die Messungen von Tag 1-5 der trainierten und untrainierten Hand, vor und 20 Minuten nach der Übungssequenz gemessen. Zu beachten ist die deutliche Veränderung der Rindenfelder für die trainierte Hand und das Fehlen von Änderungen für die ungeübte Hand. (C) Grafische Darstellung der Mittelwerte (\pm SD) der motorischen Rindenfelder für alle Probanden. Beachten Sie die signifikanten (*) Veränderungen der Grösse der motorischen Rindenfelder für die trainierte Hand nach Trainings an den Tagen 3 bis 5.

A. Pascual-Leone beschreibt die plastische Veränderung in der Region der sensorischen und motorischen Rindenfelder im Hirn, wenn häufig und intensiv Musik gespielt wird. Die plastischen Veränderungen gingen auch mit einer Verringerung der Schwelle für die TMS Aktivierung des Fingerbeugers und Streckers einher. Diese Veränderung konnte nur gezeigt werden, wenn jeweils nach einer Pause von 20-30 Minuten nach dem Training gemessen wurde. Nicht aber, wenn vor dem Training gemessen wurde. Die Daten waren hochsignifikant.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass A. Pascual-Leone darauf hinweist, dass diese plastischen Veränderungen auch ein Risiko für die motorische Kontrolle sind. Diese Überbeanspruchung kann zu Funktionsstörungen führen. Seine Studienresultate untermauern die wichtige Funktion des motorischen Cortex (M1) beim Bewegungslernen. Er vermutet, dass die gezeigten Veränderungen im M1 aber auch ausgehend vom Prämotorischen Cortex konditioniert sein könnten.

1.2.4 Der Effekt von Musiktraing mittels mentaler Technik auf den M1

A. Pascual-Leone hatte in einem zweiten Teil der Studie, *The Brain that Plays Music and is Changed by It*, 2001, Untersuchungen zum Effekt des mentalen Trainings auf den M1 gemacht. Diese Untersuchung hat er ebenfalls mit TMS durchgeführt und das Selbe Untersuchungsdesign genutzt, wie oben beschrieben ist.

Insgesamt wurden drei Gruppen getestet. Eine Untersuchungsgruppe hatte nur praktisch geübt eine zweite nur mental trainiert, und eine Kontrollgruppe weder noch. Für das mentale Training wurde die Technik des Visualisierens angewendet. Die Probanden saßen vor dem Piano und gingen in Gedanken die Fingerabfolgen durch, ohne dabei die Finger wirklich zu bewegen. Die Überwachung der mentalen Trainings wurde mit EMG und Video sichergestellt.

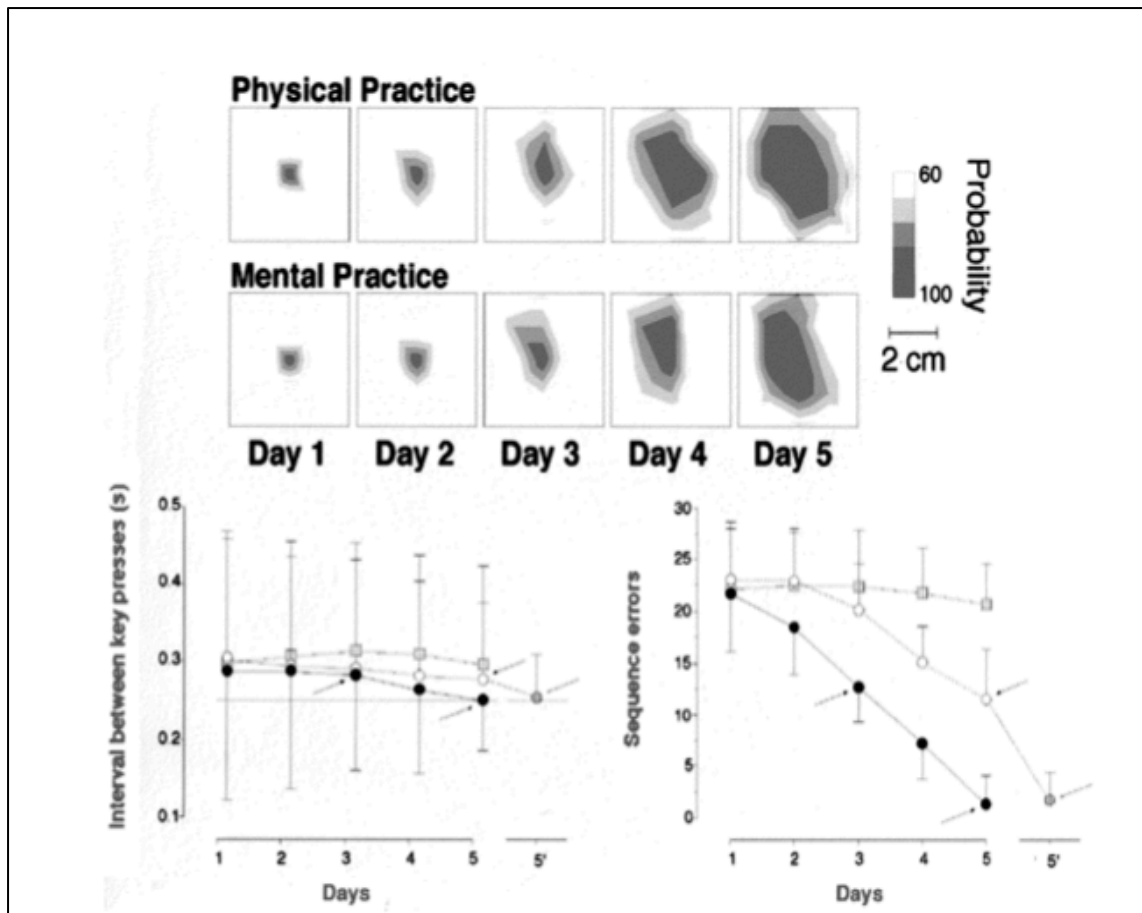


Abb. 7: Oben: Grösse der Rindenfelder des Flexors des Zeigefingers der trainierten Hand bei einem repräsentativen Probanden. Physisches Training versus mentalem Training. Bei beiden Trainingsarten gibt es eine deutliche Veränderung der Rindenfeldgrösse von Tag 1-5. Unten: Grafik der Kontrollgruppe (Quadrate) und der mentalen Trainingsgruppe (offener Kreis) und der physischen Trainingsgruppe (ausgefüllter Kreis). Bei der physischen Trainingsgruppe sind die wenigsten Fehler zu verzeichnen und die höchsten Intervalle erreicht worden. Die mentale Trainingsgruppe hat im Vergleich zur Kontrollgruppe ebenfalls signifikante Verbesserungen erzielt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Resultate der Untersuchung eine signifikante Vergrösserung der Rindenfelder im M1 zeigen, -ausgelöst durch mentales Training.

Folgende Studie von Olsson C.-J., Jonsson B., Nyberg L., (2008) mit dem Titel « Learning by doing and learning by thinking: an fMRI study of combining motor and mental training » zeigt interessante Resultate. Nyberg et al. (2006) stellten fest, dass mentales Training eher die visuellen Hirnregionen beansprucht und das motorische Training eher mit einer höheren Aktivierung in der Supplementär-motorischen Rinde (SMA) und dem Cerebellum einhergehen. Die Hypothese für die Studie Olsson C.-J., Jonsson B.,

Nyberg L., (2008) lautete wie folgt : Wenn kombiniertes motorisches und Mentales Training gemacht wird, werden ähnliche neuronale Veränderungen auftreten wie sie bei isoliertem mentalem oder motorischem Training gesehen werden können.

Die Untersuchung wurde an dreissig gesunden Probanden gemacht, die in drei Gruppen aufgeteilt wurden. Von denen jeweils eine Gruppe nur motorisches, eine nur mentales, und eine mentales und motorisches Training absolvierten. Alle wurden einem Vortest unterzogen, einer Trainingssequenz von sechs Wochen und einem Nachtest. Die Aufgabe bestand darin bei zwei verschiedenen Sequenzen (A oder B) so schnell wie möglich die richtige Tastaturabfolge auf einer Computertastatur nach Vorgaben die im Bildschirm angezeigt wurden, nachzumachen. Die Finger der linken Hand wurden nummeriert, der Zeigefinger war die Nummer eins. Nach sechs Wochen Training wurden alle noch einmal getestet, wobei beide motorischen Programme (geübtes und ungeübtes) getestet wurden. Gemessen wurden die Anzahl korrekt getippter Sequenzen und die durchschnittliche Zeit, die gebraucht wurde, um die Sequenzen zu tippen. Die Aktivitäten in den Hirnregionen wurden mit fMRI dargestellt.

Die Resultate der Studie zeigen, dass durch beide, sowohl motorische als auch motorisch und mentalem –Training, die Leistung einer motorischen Arbeit mehr steigt als durch mentales Training alleine. (Siehe Abbildung acht Bild A-C) Somit ist das motorische Training effektiver als das mentale Training. Jedoch einen signifikanten Trainingseffekt von motorischem und mentalem Training wurde nur bei den untrainierten Sequenzen festgestellt. Mentales Training hat also vor allem positive Auswirkungen für Transferleistungen.

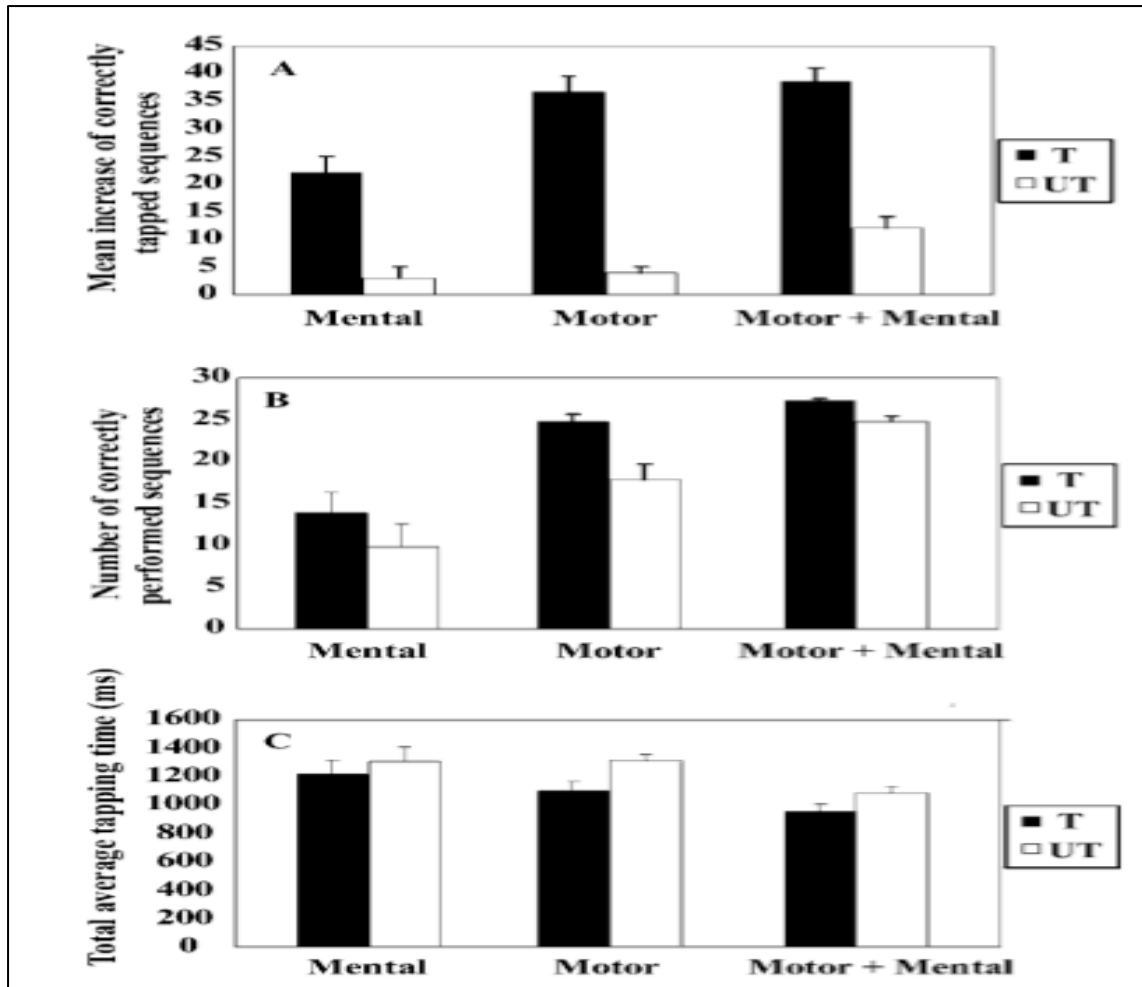


Abb. 8: Resultate A-C der Studie von C.-J.Olsson et al. (2008)

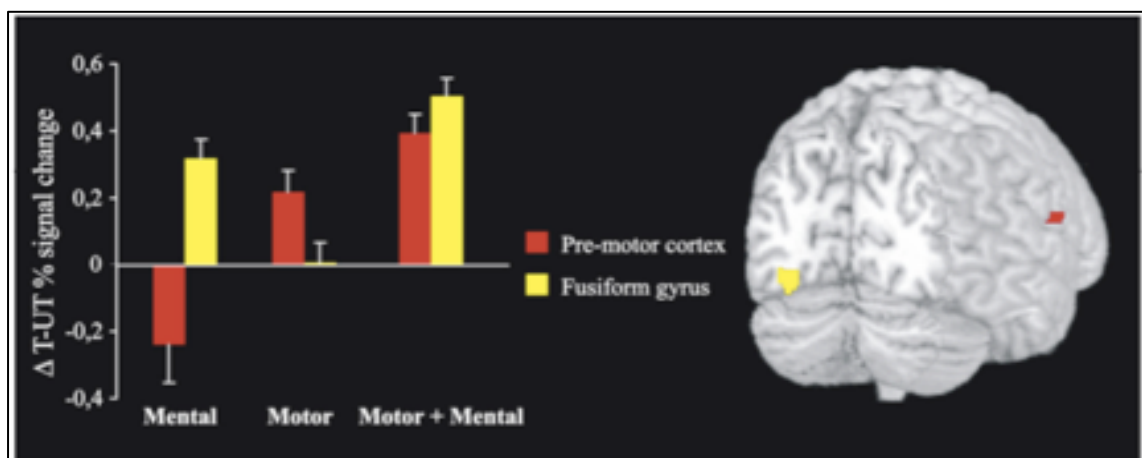


Abb. 9: Die Abbildung zeigt die Resultate nach sechs Wochen Training. Eine signifikante Vergrößerung der Aktivierung kann im Bereich des kontralateralen ventralen prämotorischen Kortex beobachtet werden. Gemessen wurde dies während der Ausübung der trainierten Sequenz. Nach dem mentalen Training war im linken Fusiformus Gyrus die Aktivierung (gelb) signifikant grösser geworden. Beide Regionen zeigen eine höhere Aktivierung wenn kombiniert (mental und motorsich) trainiert wurde. Die Balken zeigen die Differenz der Geübten und Ungeübten

Sequenz gemessen mit dem BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent). Es ist gut ersichtlich, dass bei kombiniertem mentalen und motorischen Training im Vergleich zu nur mentalem oder nur motorischem Training, im Premotorischen Cortex und im Fusiform Gyrus die Aktivität deutlich anstieg. Dies zeigt, dass das Premotorische Areal, in der Nähe des Arm und Hand Areals eine Rolle spielt, was die Organisation der trainierten motorischen Sequenz anbelangt. Bei mentalem Training wird die Fingerabfolge visuell gespeichert. Diese gespeicherte Information kann beim tatsächlichen Ausführen der Bewegung gebraucht werden.

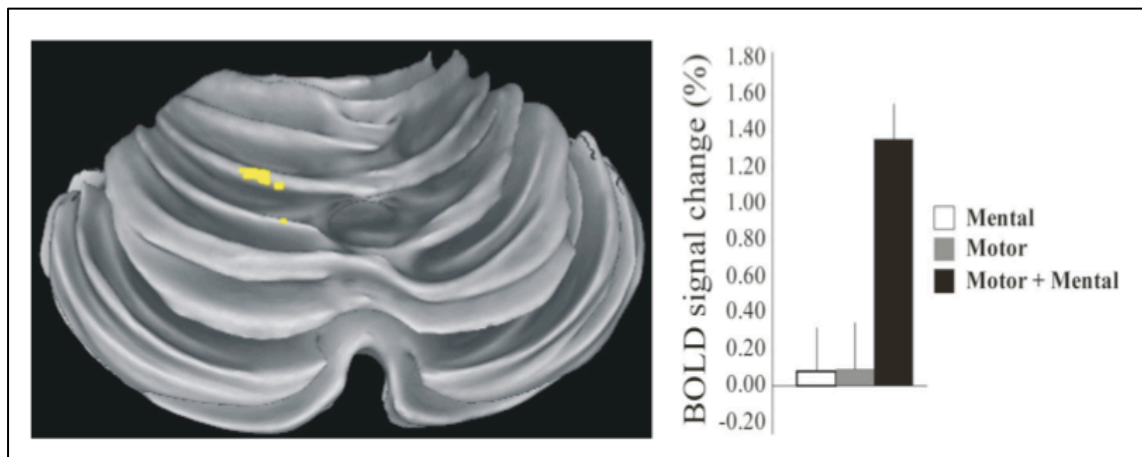


Abb. 10: Erhöhte Aktivierung im Cerebellum, posterior, ipsilateral (links) bei der Bewegungsabfolge der untrainierten Sequenz.

Während der Bewegungsabfolge der untrainierte Sequenz wurde ein fMRI des Cerebellums gemacht. Im posterioren und ipsilateral Bereich zeigt sich eine erhöhte Aktivität. Dies konnte aber ausschliesslich bei der Gruppe beobachtet werden, welche kombiniert, mental und motorisch, trainiert hat. Die Resultate der Kontrollgruppe schliessen aus, dass dieser Effekt auf Grund des grösseren Trainingsumfanges zustande gekommen ist. Bei allen Gruppen konnte kein Transfer festgestellt werden bei dem zu vermuten wäre, dass die beiden Sequenzen, untrainierte und trainierte, zu ähnlich gewesen wären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Erhöhung der Aktivitäten in den Hirnregionen trainingsspezifisch ist- bei motorischem Training im ventralen prämotorischen Cortex und im Gyrus Fusiformis bei mentalem Training.

Bei kombinierte mentalem und motorischen Training ergaben sich signifikant höhere Tipp-Leistungen bei der untrainierten Sequenz. Die fMRI Bilder zeigen dass bei diesem Transfereffekt das Cerebellum involviert ist.

Die Studienresultate sind insofern im Zusammenhang mit der vorliegende Studie inte-

ressant, da der Effekt von motorischem und mentalem Training wie auch von kombinierten Training, unterschiedliche Veränderungen der motorischen und visuellen Hirnareale aufzeigen. Da Pianisten jahrelang komplexes motorisches Training absolvieren, und mentales Training möglicherweise noch dazukommt, könnte dies für die Erforschung der SI oder die Erforschung der FD bei Musikern, von Bedeutung sein.

1.2.5 Was ist Surround Inhibition (SI)?

Der Begriff der SI stammt ursprünglich aus der sensorischen Physiologie. Der Effekt der Lateral Inhibition ist in der Retina bekannt. Die Nervenwurzel, welche ein starkes Signal erhält, sendet ein Signal zur Horizontalen Zelle. Die Horizontale Zelle ist mit ihren Dendriten mit anderen benachbarten Zellen in Verbindung. Dieses starke Signal bewirkt, dass die Signale in der benachbarten Zelle gehemmt werden.

<http://www.youtube.com/watch?v=sItlLNhhiLg>

Lateral Inhibition wird auch Lateral Antagonism genannt. Und der Effekt kann leicht sichtbar gemacht werden, wenn zwei unterschiedlich dunkle, graue Flächen neben einander geschoben werden. Betrachtet man die Kontaktlinie der Flächen, hat man das Gefühl, dass entlang der Kontaktlinie, auf der Seite der helleren Fläche, ein Streifen etwas heller ist als der Rest der Graufäche.

<http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Surround+inhibition>

Grenzen werden also schärfer dargestellt. Überträgt man dieses Modell auf motorische Abläufe, würde bei einer Bewegung das Gehirn die erwünschte spezifische Bewegung bahnen und gleichzeitig andere mögliche Bewegungen unterdrücken. Das Unterdrücken von anderen ungewollten Bewegungen wäre die **SI** und ermöglicht so präzisere Bewegungen. (Matthias Weidenmüller 2010 S. 11) Auch Hallett postulierte dieses Konzept 2004.

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen. SI ist ein physiologischer Vorgang um neuronale Aktivitäten im zentralen Nervensystem zu bündeln. Die sogenannte Zentrum- Umgebungs- Organisation ist im Bereich des sensorischen Systems (Bsp. Optik) gut bekannt. Signale, die im Zentrum sind werden verstärkt und Signale ausserhalb des Zentrums werden gehemmt um den Kontrast zwischen den Signalen zu verstärken. (S.Beck, und M. Hallett, 2011)

1.2.6 Gibt es SI in der Motorik?

„Es ist auch bewiesen, dass SI dazu dient, motorische Reaktionen zu steuern. SI kann mit einer sensomotorischen Aufgabe demonstriert werden.“ (Beck et al. 2008) Um bei einer Untersuchung elektrische Impulse in einem Zielmuskel zu messen, wird die TMS (transkranielle Magnetstimulation) angewendet. Die Spule wird aussen über dem Schädel, beziehungsweise über dem entsprechenden Areal des M1 gehalten. Die somit ausgelöste Aktivität im Muskel wird mit Elektroden an den Umgebenden Muskeln des Zielmuskels gemessen. Das mit TMS ausgelöste MEP (Motor Evoked Potential) zeigt die Aktivität mehrerer Muskelfasern zusammen. Durch die Grösse der MEP kann auf die SI geschlossen werden.

1.2.7 Anwendung von TMS zur Erforschung der SI

J.C. Rothwell et al. schreiben zum Thema „Magnetic Stimulation: Motor Evoked Potential“. Wird die SMA durch TMS stimuliert, so kann es sein, dass die Synchronität bei einer beidseitigen Fingerbewegung gestört wird. TMS angewendet auf dem Prämotorischen Cortex kann die Auswahlreaktionszeit verzögern. TMS angewendet auf den M1 bewirkt Muskelkontraktionen der jeweiligen kontralateralen Körperregion über der stimuliert wird. In der vorliegenden Studie wird TMS über dem kontralateralen M1 angewendet um Muskelzuckungen der Fingermuskulatur der rechten Hand zu bewirken. Um auf die SI schliessen zu können müssen die durch TMS ausgelösten MEPs mittels Oberflächen Elektroden, die an den Fingermuskulaturen aufgeklebt sind, gemessen werden. Das Resultat wird jeweils durch die Messung der MEP in Ruhe dividiert und in Prozent ausgedrückt. Wenn alle beeinflussenden Parameter (z.B. Hintergrund-EMG) konstant sind, so spricht man für die MEPs der nicht-aktiven Muskeln von SI.

$$SI = \left(\frac{MEP}{MEP_{rest}} \right) \times 100\%$$

1.2.8 SI und Training

In einer Studie von P. Kassavetis et al. (2012) wird die SI in Bezug auf Training untersucht. Die SI wurde in dieser Studie verwendet, um bei der Bewegung des Zeigefingers

die Konsequenzen eines somatosensorischen Feedbacks, mit einer zeitlichen Verzögerung, zu erforschen. Die Studie untersucht die Aussage dass die SI anpassungsfähig ist und dass eine Adaption ein Prozess des fehlerbasierten Lernens ist. Die Hypothese lautet, dass das Falschfeedback, angezeigt durch falsche Bewegungen im Muskel, Veränderungen in der SI verursacht.

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, einen Knopf mit dem Zeigefinger zu drücken ohne dabei den Kleinfinger zu bewegen. Dabei wurden über dem M1 TMS Impulse appliziert und mit Hilfe einer EMG des Zeigefinger Muskels (ADM) die SI ermittelt. Die SI wurde in einem zweiten Experiment neu bewertet. Im zweiten Experiment wurde in zwei Trainingsblöcken trainiert. Mit einer Vibration wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Bewegung des Zeigefingers der Kleinfinger Muskel (ADM) gestört. Bei der Auslösung der Flexion des Zeigefingers war der erste Zeitpunkt (VIB onset), der zweite Zeitpunkt 100ms nach Bewegungsauslösung (VIB100). Die Messungen wurden mit Hilfe von TMS durchgeführt. Es wurde über dem M1 der kontralateralen Seite stimuliert.

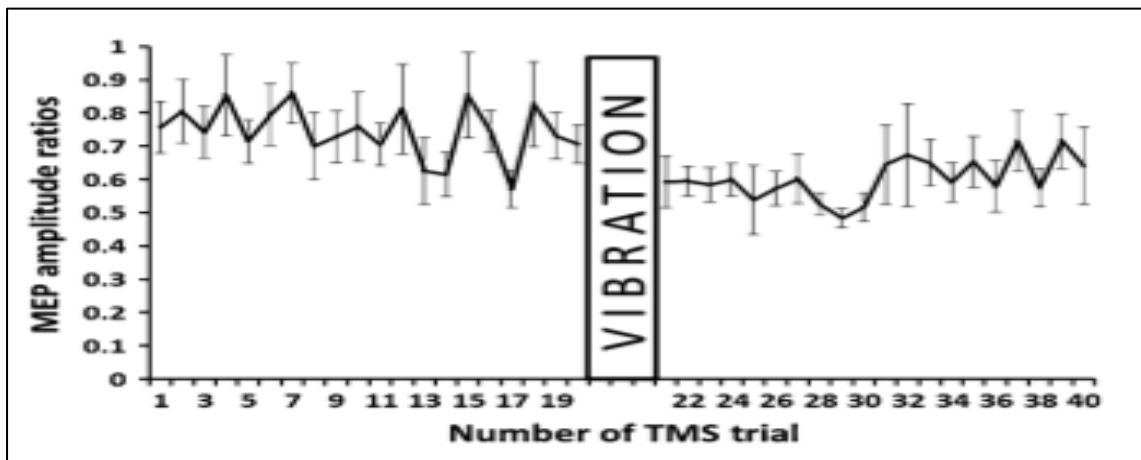


Abb. 11: Mittlere MEP Amplitude des ADM bei der VIB onset Messung

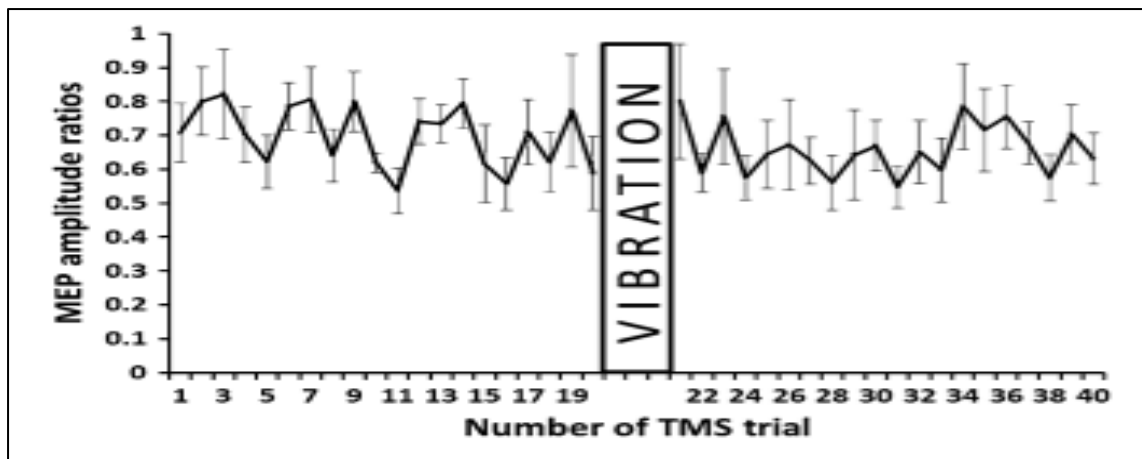


Abb. 12: Mittlere MEP Amplitude des ADM bei der VIB 100 Messung.

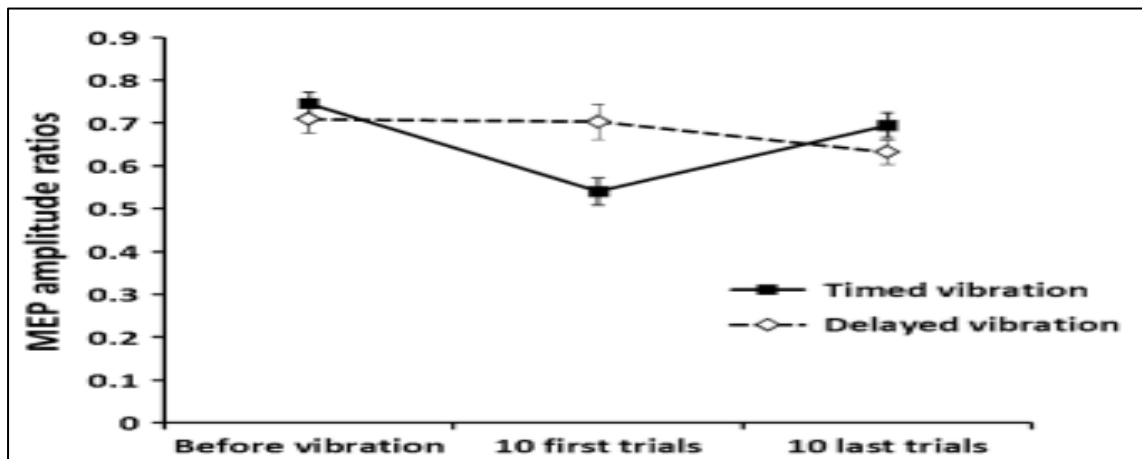


Abb. 13: Mittlere MEP Amplitude im ADM bei VIB onset (Timed Vibration) und VIB 100 (Delayed Vibration). Gemessen zu drei Zeitpunkten: vor Vibration, nach den ersten 10 Versuchen und nach den letzten 10 Versuchen.

Das Resultat der Studie besagt, dass die SI durch Erfahrung modifiziert werden kann. Der Zeitpunkt der sensorischen Stimulation (Vibration) wurde als entscheidend für die Modifikation von SI angegeben, denn zum Zeitpunkt 100ms nach Bewegungsauslösung (VIB100), wurde kein Unterschied der SI zur Basismessung festgestellt. Das deutet darauf hin, dass nur sensorische Signale (Vibrationen), die eng im Zusammenhang mit dem Bewegungsbeginn induziert werden eine adaptive Veränderung der SI auslösen können. Die Autoren vermuten, dass dies durch ein Feed-Forward-Verfahren gesteuert wird. Denn durch die Vibration wurde versucht, das sensorische Feedback zu beeinträchtigen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die SI trainierbar ist. P. Kassavetis et al. (2012)

Kang Suk. Y. , Hallet M. , und Sohn H., (2012) beschäftigen sich mit der Frage ob die SI durch Training reduziert wird, so wie das bei FHD Patienten beobachtet werden kann. Für die Untersuchung haben sie Messungen von fünfzehn gesunden Rechtshändern mittels TMS gemacht.

Die Aufgabe bestand aus einer Einzelfingerbewegung und einer Dualbewegung. Die MEP wurden im ADM gemessen. Die Messungen wurden zuerst einzeln bei Flexion des Zeigefingermuskels (FDI) bzw. ADM Abduktion durchgeführt. Danach dual, das heisst gleichzeitige Flexion des FDI und Abduktion des ADM. Der TMS Impuls war 3ms nach Beginn der selbst initiierten Flexion des FDI getriggert. Gemessen wurde zu den Zeitpunkten Null, Zehn, Zwanzig und Dreissig Minuten nach den Fingerübungen.

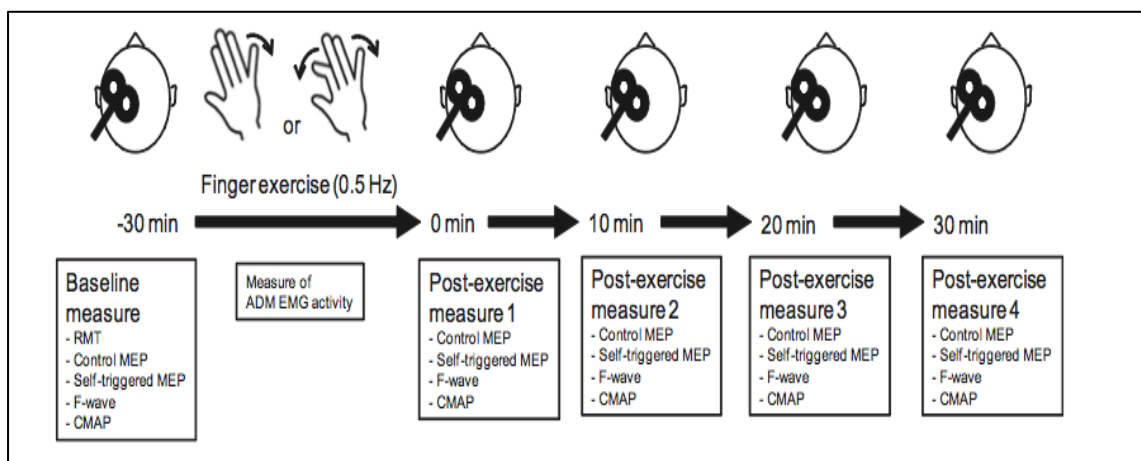


Abb. 14: Versuchsanordnung S.Y. Kang (2012)

Das Resultat der Studie war folgendes: erstens wird die SI durch Üben reduziert und zweitens reduziert das synchron ausgeführte Bewegungstraining die SI noch stärker.

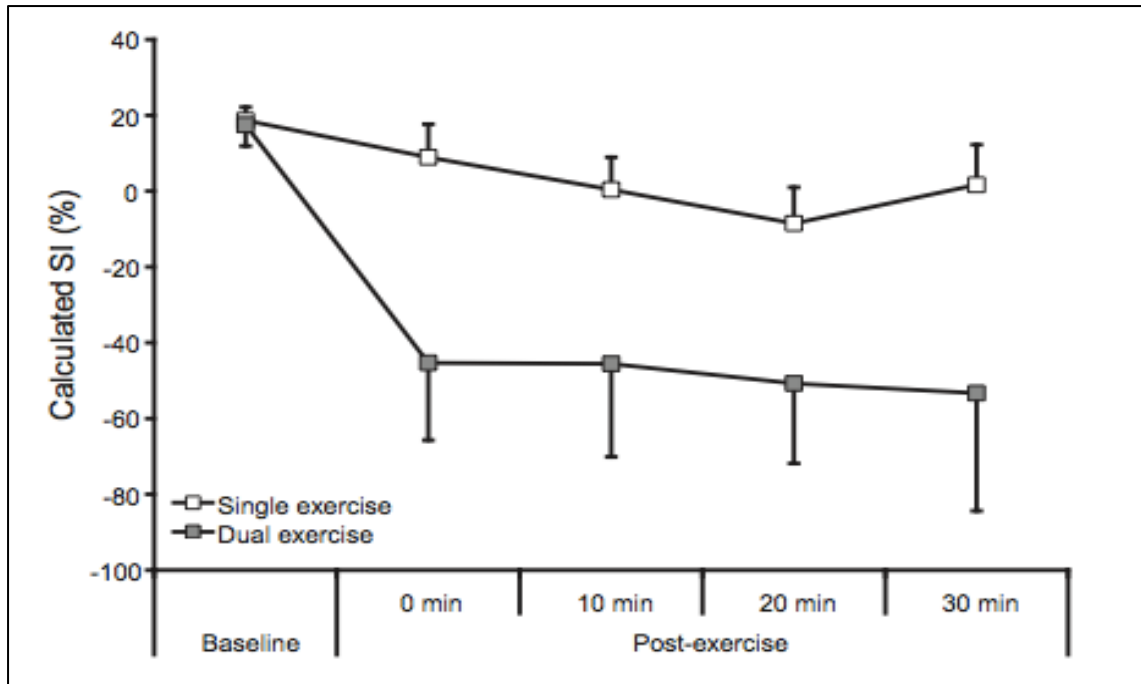


Abb. 15: Resultate Studie von S.Y. Kang (2012), Berechnete SI vor und nach Einzel- und Dual-Finger-Übungen.)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei synchron ausgeführten Fingerübungen die SI der umgebenden Muskeln reduziert wird. Die Autoren vermuten, dass dieser Effekt entweder aufgrund der Stärkung der erregenden Verbindungen oder durch Abschwächung der hemmenden Verbindungen zustande kommt.

Bei einer Studie von Shin Hae-Won et al. (2012), haben sich die Autoren mit der Frage beschäftigt, wie sich die SI bei zehn professionellen Musikern und fünfzehn Nicht-Musikern (Kontrollgruppe) unterscheidet. Die Hypothese lautete, dass die SI bei Musikern, durch jahrelange repetitive Handübungen, erhöht ist. Und dass die Erhöhung der SI mit den strukturellen und funktionellen Veränderungen im M1 einhergeht.

Die Messungen wurden mit TMS gemacht. Die Aufgabe bestand aus einer einfachen Flexionsbewegung des Zeigfingers zu verschiedenen Intervallen (3ms-1000ms). Die Ableitungen der MEPs wurden am ADM gemessen.

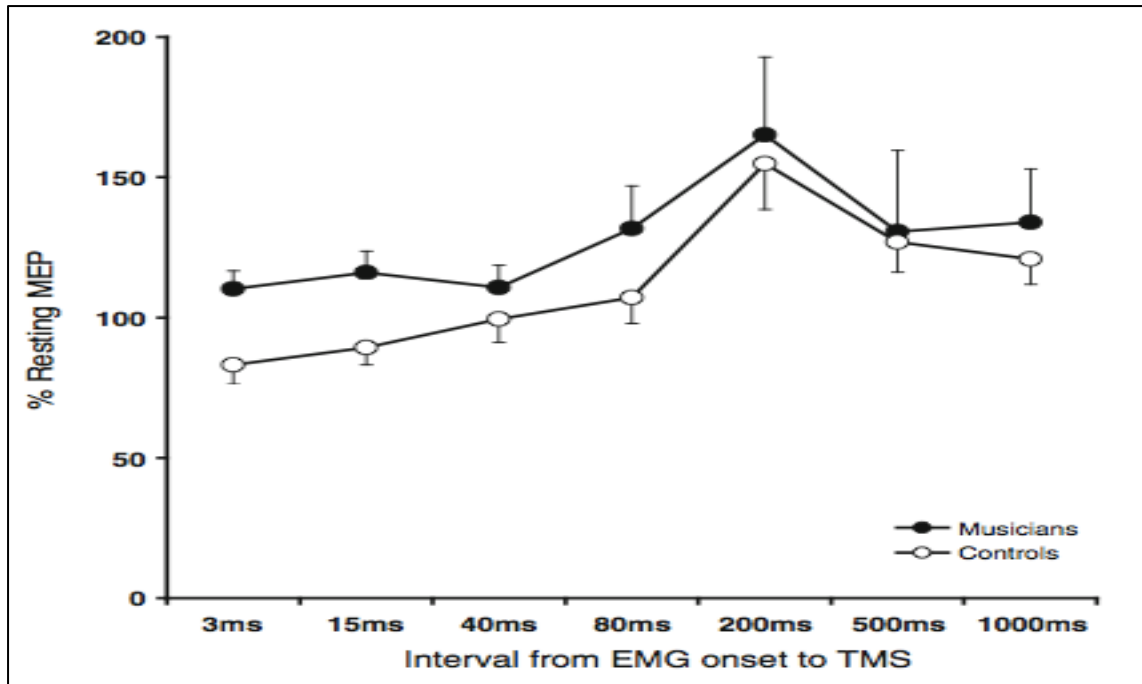


Abb. 16: Die Grafik zeigt die die normalisierte MEP Amplitude des ADM. Bei den Musikern ist die Amplitude signifikant grösser als bei den Nicht-Musikern. Die MEP wurden durch selbstgetriggelter TMS Stimulation bei Flexionen des Zeigefingers gemessen.

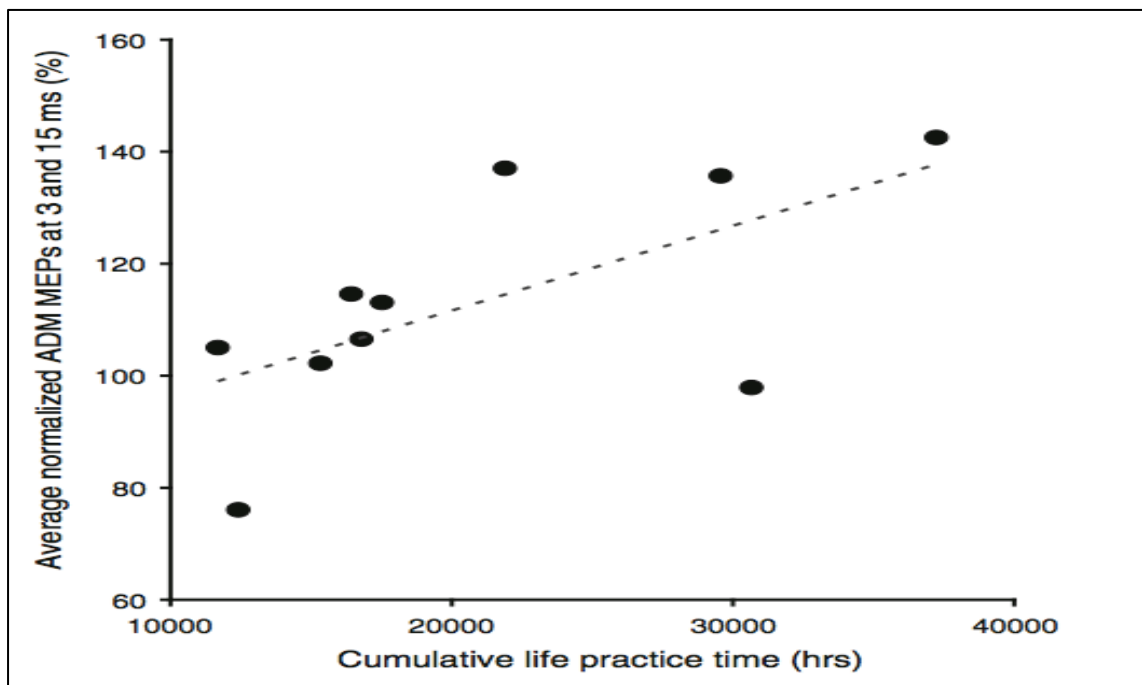


Abb. 17: Resultate Studie : Shin Hae-Won, Das Diagramm zeigt die Beziehung der kummulierten Praxisstunden der Pianisten und die Mittlere MEP-Grösse des ADM Muskels bei 3ms-15ms Intervallen. Die Daten sind hochsignifikant und die Korrelation zwischen diesen beiden Parametern ist positiv ($r=0.64$, $p=0.046$).

Das Resultat der Studie zeigt, dass sich die SI von Musikern und der Kontrollgruppe signifikant unterscheiden. Die Hypothese wurde nicht bestätigt denn die SI der Musiker ist tiefer als die SI der Kontrollgruppe. Die Autoren vermuten, dass bei Musikern nicht eine funktionelle Störung auftritt wie bei FHD Patienten, jedoch das durch die bessere Kopplung -Synergie unter den Handmuskeln, eine tiefere SI entstehen könnte.

Sugawara K. et al. (2012) ermitteln in ihrer Studie, mit dem Titel „Functional plasticity of surround inhibition in the motor cortex during single finger contraction training“ ein gegenteiliges Resultat. Die Aufgabe bestand aus einer einfachen Fingerbewegung, nämlich mit dem Zeigefinger eine Abduktion zu machen. Diese Bewegung wurde mit 40 Prozent der maximalen willkürlichen Kraftentwicklung (MVC) gemacht. Dabei sollte der Kleinfinger möglichst nicht bewegt werden. Die Zielvorgabe war, für den ADM 5% Prozent MVC nicht zu überschreiten. Die Probanden sahen den Monitor der die Kraftlinie anzeigte. Das Training dauerte jeweils dreissig Minuten. Zur Messung wurden TMS und EMG eingesetzt.

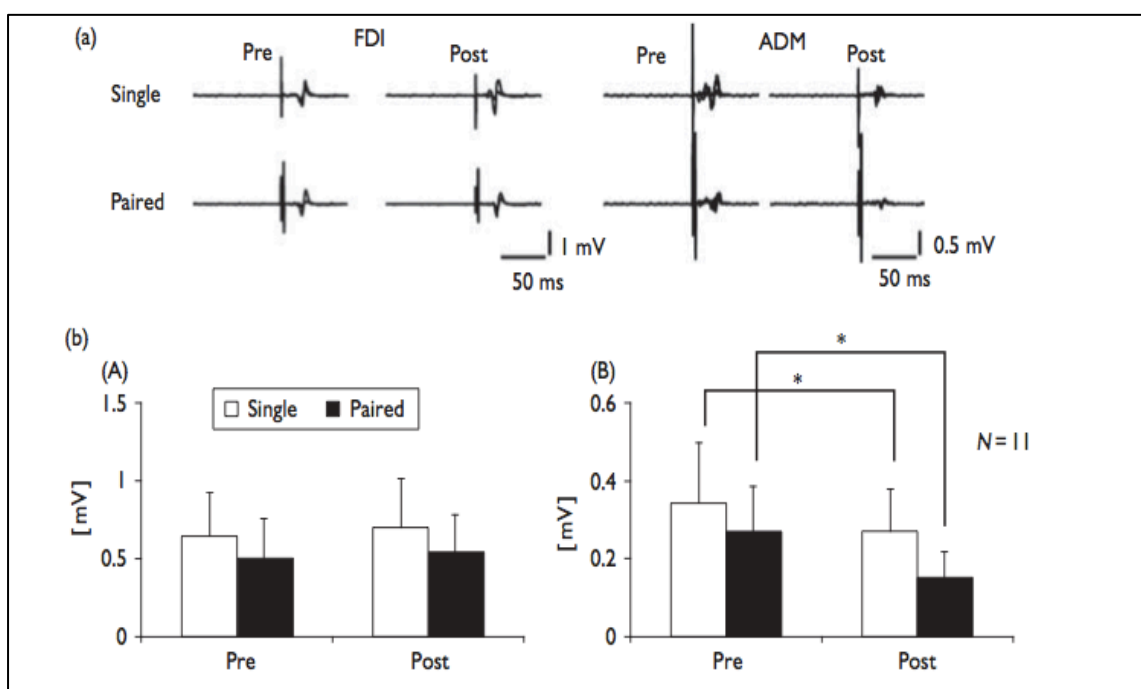


Abb. 18: Resultate Studie von Sugawara K. et al. (2012)

Das Diagramm zeigt bei (A) die MEP-Größen des FDI, gemessen vor und nach dem

Training. (B) die Reduktion der MEP-Grösse im ADM nach dem Training ist signifikant (* $P < 0.05$). (Quelle NeuroReport 2012, Vol 23 No 11, S. 666)

Das Resultat der Studie zeigt, dass die MEP-Grösse nach einem Training im ADM signifikant verkleinert ist, wohingegen keine signifikanten Anpassungen im FDI gefunden werden konnten. Das heisst, dass die SI, gemessen im ADM, durch Training nur für den nicht-trainierten Muskel erhöht wurde. Die Autoren dieser Studie schlussfolgern, dass SI durch Training moduliert werden kann. Besonders hervorzuheben ist, dass Veränderungen der Short-Latency Intracortical Inhibition (SICI) nur im nicht-trainierten Muskel festgestellt werden konnte, wohingegen keine Anpassungen für den eigentlichen Trainingsmuskel gefunden werden konnten. Folglich fassen die Autoren zusammen, dass SI eine wichtige Rolle beim Bewegungslernen spielen kann, um nicht-benötigte Muskelaktivität zu reduzieren.

1.2.9 Krankhafte Veränderungen- Fokale Dystonie (FD)

Die Fokale Dystonie (FD) ist eine aufgabenspezifische Bewegungseinschränkung. Ist ein Musiker von einer Fokalen Dystonie betroffen, so spricht man auch von einer Musikerdystonie. Darunter versteht man eine schmerzlose Beeinträchtigung der Feinmotorik. Der Musiker ist nicht mehr in der Lage, intensiv geübte Bewegungsabläufe flüssig auszuführen. Schnelle Läufe oder Triller, die mitunter auch besonderen Kraftaufwand benötigen, laufen nicht mehr gleichmäßig (Altenmüller 2003). Man kann die Beeinträchtigung häufig unterscheiden in Primär Dystone und Sekundär Kompensatorische Bewegungen. So kontrahieren z.B. bei Pianisten oder Gitarristen ungewollt einzelne Finger, bzw. strecken sich einzelne Finger kompensatorisch aus. Für die meisten der betroffenen Musiker ist die Erkrankung sehr einschränkend, so zwingt sie nicht selten den Betroffenen zur Aufgabe der musikalischen Karriere. (M. Weidenmüller, 2010, S. 7)



Abb. 19: Bild oben links : Fokale Dystonie beim Pianisten. Charakteristisch ist das unwillkürliche Einrollen oder Abspreizen einzelner Finger während des Spiels. Bei diesem Pianisten liegt eine Beugedystonie des 4. und 5. Fingers der rechten Hand vor.

Epidemiologie und Ätiologie

Verglichen mit der Normalbevölkerung zeigt sich unter Musikern eine deutlich höhere Prävalenz der beschäftigungsabhängigen Dystonie. Liegt die Prävalenz bei anderen Berufsgruppen (z.B. Mikrochirurgen, Uhrmachern, Schreibkräften) bei circa 1:3400, so wird angenommen, dass circa 1% aller professionellen Musiker vom Musikerkrampf betroffen sind (Altenmüller 2003). Besonders häufig trifft es Männer, im Verhältnis zu Frauen mit einer Häufigkeit von etwa 4:1. Das mittlere Erkrankungsalter liegt in der 4. Lebensdekade (Jabusch und Altenmüller 2006, Lederman 1991, Brandfonbrener und Robson 2002), trifft also die meisten Musiker auf der Höhe ihres Könnens. Pianisten, Holzbläser und Gitarristen, die zusammengekommen etwa 70% des Patientenkollektivs ausmachen, sind die am häufigsten betroffenen Instrumentalisten (Jabusch und Altenmüller 2006, Brandfonbrener und Robson 2002). Sowohl beim Pianisten als auch beim Gitarristen entwickelt sich die Dystonie in den meisten Fällen in der rechten Hand (Jabusch und Altenmüller 2006). Grund hierfür ist die höhere Spielbelastung als in der linken Hand (M. Weidenmüller, 2010, S. 7)

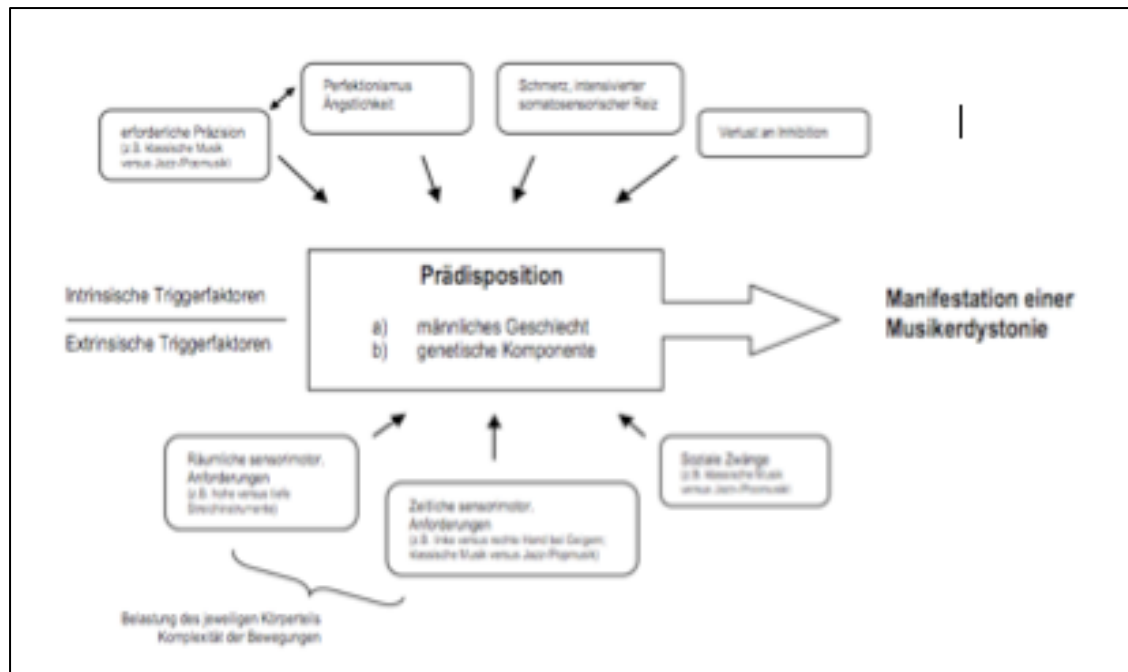


Abb. 20: Mögliche Interaktion zwischen Prädisposition und extrinsischen und intrinsischen Faktoren bei der Manifestation einer Musikerdystonie.

Altenmüller et al. (2012), beschreibt in seiner Studie « Musician's cramp as manifestation of maladaptive brain plasticity: arguments from instrumental differences » dass die Blech-, Gitarre-, und Holzbläuserspieler ein grösseres Risiko tragen an fokaler Dystonie zu erkranken, als andere Instrumentalisten. Und dass eine hohe zeitliche und räumliche Präzision in den Bewegungen, sowie eine synchron beanspruchende tonische und phasische Aktivierung der Muskulatur, in Kombination mit feinmotorischen, starken Beanspruchungen der dominanten Hand im Alltag, einen grossen Einfluss auf die Auslösung einer FHD haben können. Das heisst, eine hohe Belastung durch die Spielhand, gekoppelt mit einer Alltagsbelastung der selben Hand, kann zu einem auslösenden Faktor einer FHD führen.

Die Ätiologie der Musikerdystonie ist multifaktoriell (Jabusch und Altenmüller 2006, s. Abbildung 1). Demnach gibt es neben prädisponierenden Faktoren extrinsische und intrinsische Trigger. Zu den prädisponierenden Faktoren zählt zum einen das männliche Geschlecht, zum anderen eine genetische Komponente. So berichteten circa 6% in der von ihnen untersuchten Kohorte von einem Fall fokaler Dystonie (Schreibkrampf, bzw. Musikerkrampf) in der Familie (Jabusch und Altenmüller 2006). (Weidenmüller M. 2010 S.8).

Pathophysiologie

Zur Pathophysiologie sind verschiedene Ansätze denkbar. Die genaue Ursache jedoch ist bis heute nicht geklärt. Zum Einen könnte die Ursache auf Veränderungen in den Basalganglien zurückzuführen sein, oder einer Übererregbarkeit des motorischen Kortex. Zum Andern könnte die Ursache auf eine Beeinträchtigung der Sensibilität zurückzuführen sein.

Es wird davon ausgegangen, dass sowohl ein genetischer Faktor als auch externe Triggerfaktoren eine Dystonie auslösen können. In einer Studie von A. Schmidt et al. 2012 wurden bei 110 professionellen Musikern mit FHD mittels eines Fragebogens retrospektiv Daten ausgewertet. Diese erhoben die kumulative Dauer der Ausübung feinmotorischer Tätigkeiten (Instrumentalspiel, Schreiben) und andere mögliche umweltbedingte Auslöser der Musikerdystonie (MD) (Steigerung der Übezeit, Schmerz, Nervenverletzung). Als Kontrollgruppen dienten 99 neurologisch untersuchte, gesunde, professionelle Musiker und 61 gesunde Familienmitglieder von Patienten mit MD, die älter als 33 Jahre waren (mittleres Alter des Beginns der MD). Die Schlussfolgerung aus der Studie lautet wie folgt »Die Kombination aus genetischem Faktor und feinmotorischer Belastung scheint zur MD beizutragen, da betroffene Musiker ähnlich viel geübt haben wie gesunde Musiker und signifikant mehr als ihre gesunden Familienmitglieder. Ein frühes Alter des ersten Übens scheint bezüglich der Entwicklung einer MD protektiv zu sein. » (A. Schmidt et al, 2012)

Ein anderer Ansatz beschreibt Veränderungen in den Basalganglien.

Nach Beck et Al. 2008 gibt es mehrere intracortical-Schleifen die versagen und er vermutet, dass es dadurch zu einem Beitragen zur Störung der SI kommt. Geht man nun von einem Mangel an SI aus, ließen sich die dystonen Bewegungen gut erklären. (M. Weidenmüller, 2010 S. 11) Ausserdem weist Pascual-Leone A. (2001) darauf hin, dass plastischen Veränderungen in den Hirnarealen, ausgelöst durch Training, auch ein Risiko für die motorische Kontrolle sind. Diese Überbeanspruchung könne zu Funktionsstörungen führen.

1.2.10 SI und krankhafte Veränderungen sowie Unterschiede in den Bewegungsphasen

Beck et al. (2008) machten eine Untersuchung zum Thema SI mit einer Gruppe von focal hand dystonia Patienten (FHD) und einer Kontrollgruppe (CON). Die Hypothese der Studie war, dass bei der gesunden Kontrollgruppe die SI in der Bewegungsinitiationsphase auftreten würde, aber nicht während der Haltephase der Bewegung. Und dass bei FHD Patienten eine reduzierte SI festzustellen ist.

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, mit dem Zeigefinger auf einen Knopf zu drücken. Die Studie wurde mit Hilfe von TMS und H-Reflex durchgeführt. Mittels Elektroden wurden die MEPs des Daumenmuskels (APB) und des Zeigefingermuskels (FDI) abgeleitet. Die MEPs wurden zudem in vier verschiedenen Phasen der Bewegung gemessen (Rest, Premotor, Phasic, Tonic).

Das Resultat der Studie zeigt, dass die Kontrollgruppe (CON) eine Hemmung des evozierten Potentials (MEP) während der Phase der Bewegungsinitiation (Premotor) und eine Verringerung der MEP Grösse während der Bewegungsausführungsphase (Phasic) hat. Während der Haltephase (Tonic) der Bewegung wurde jedoch eine Vergrößerung der MEP-Grösse im Bezug auf die Messung in Ruhe festgestellt.

Bei der Untersuchungsgruppe mit FHD, wurden diese beiden Beobachtungen nicht gemacht. Die Hypothese der Studie wird dadurch bestätigt.

In Beck et al. (2008) ist weiter geschrieben, dass die SI je nach Zeit und Raum der Bewegung unterschiedlich ist und Einfluss auf die spinale Erregbarkeit hat. Dieses Phänomen wird Jendrassik-Effekt genannt. Die Hemmung der unbeteiligten Muskeln wurde bis jetzt nur an den Handmuskeln beschrieben. (Sohn and Hallet, 2004a, Stinear and Bablow, 2004).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die aktuellen Ergebnisse der Studie zusätzliche Beweise für das Vorhandensein von SI im M1 liefern. Da die SI auf die Bewegungsinitiationsphase beschränkt ist, und bei einer Haltephase (Tonic) keine SI wirksam ist, schliesst man auf das Vorhandensein von unterschiedlichen Mechanismen im Bereich der SI. „Bei FHD Patienten ist keine SI festzustellen.“ Beck et al. (2008)

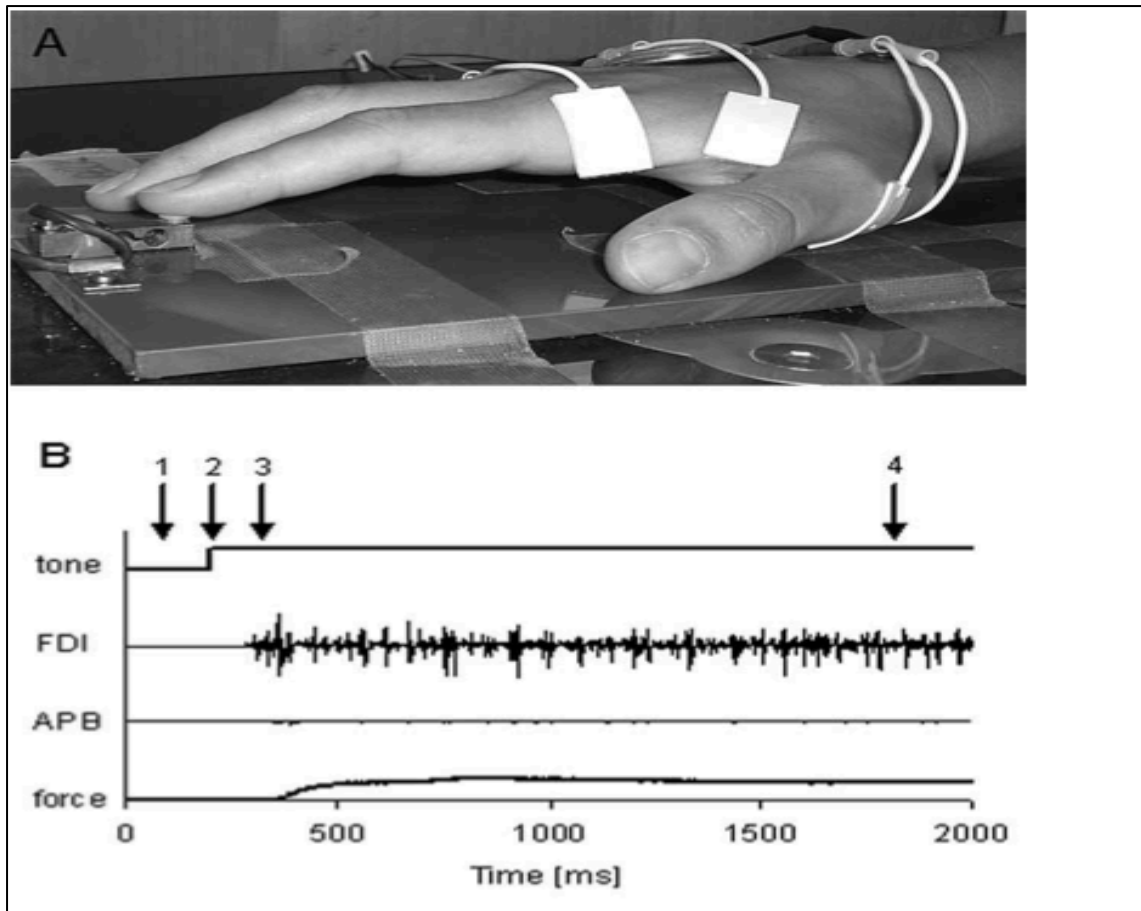


Abb. 21: Versuchsanordnung von Beck et al. (2008).

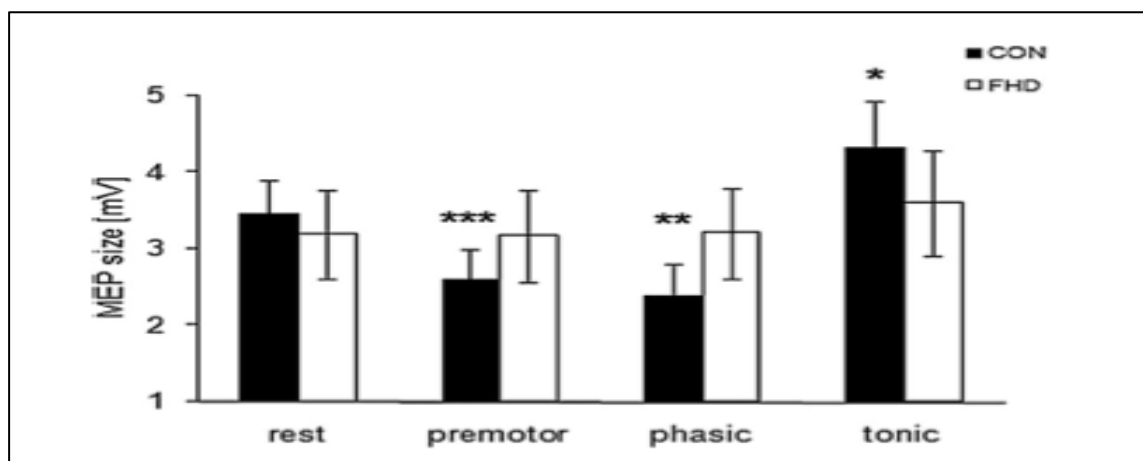


Abb. 22: MEP-Größen im APB bei aktiven FDI, in den vier Phasen der Bewegung. Gemessen bei FHD Patienten und einer Kontrollgruppe. Die Hemmung der MEP-Größe in der premotorischen- und phasischen Phase der Bewegung sind bei der Kontrollgruppe (CON) deutlich zu sehen. Eine Erhöhung der MEP-Größe ist in der tonischen Phase zu sehen. Beide Beobachtungen sind bei der FHD Gruppe nicht zu sehen. *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.005.

1.2.11 Musiktraing und FHD (focal hand dystonia)

Im dritten Teil der Studie von A. Pascual-Leone (2011), beschäftigte er sich mit der Frage, wie es bei Musikern zu einer FHD kommen kann. Um die Überlappung der sensorischen Rindenfelder auf dem Cortex festzustellen, wurde für die Untersuchung eine neue Technik angewendet. Für die Untersuchung wurden funktionelle Magnetresonanztomografie Bilder (fMRI) erstellt. Die Hypothese war, dass bei der Summe der Einzelbilder des Zeigefingers (D2) und des Mittelfingers (D3) die gleiche aktive Fläche im Cortex aktiviert ist, wie wenn beide Finger gleichzeitig bewegt werden. Das heisst also dass erwartet wird dass die kombinierte metabolische Anforderungen von zwei getrennten Arealen, aber simultan aktivierten, näherungsweise gleich hoch sind, wie wenn die Summe der Aktivierung der getrennten Aktivierung der Areale gerechnet wird (lineare Annäherung). Umgekehrt, wenn also eine Überlappung von zwei sensorischen Feldern besteht, so dass das gleiche sensorische Areal auf die Bewegung von zwei Fingern reagiert, kann nicht von einer Linearität ausgegangen werden. Denn die metabolischen Aktivitäten, ausgehend von einem sensorischen Areal, welches durch zwei verschiedenen Finger stimuliert wurde, wird vielleicht durch eine komplexere Funktion des Stimulus, wie z.B. die Reizstärke, bestimmt.

Die Untersuchung wurde mit Gitaristen gemacht, welche im Magnetresonanztomografen Gitare spielten. Es gab zwei Untersuchungsgruppen, FHD Patienten und die Kontrollgruppe. Gemessen wurde das Blood Oxygenation Level–Dependent (BOLD) Signal und mittels Subtraktion die Varianz berechnet.

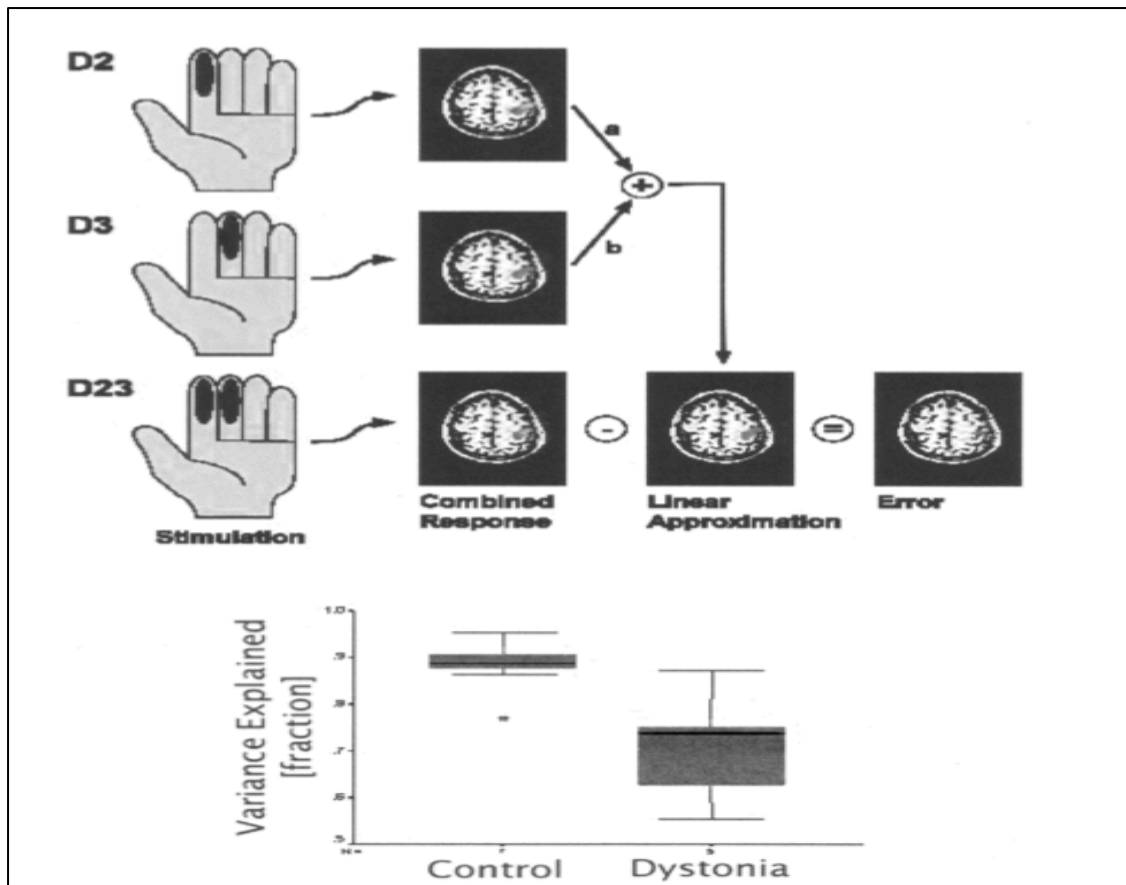


Abb. 23: Oben: Schematische Darstellung des Experimentendesigns und die repräsentativen fMRI Daten eines Probanden. Die sensorische Stimulation erfolgte auf den Zeigefinger (D2) oder den Mittelfinger (D3) oder beide gleichzeitig. Während dessen wurde das fMRI BOLD-Signal aufgezeichnet. Eine lineare Annäherung der fMRI Signale aus der damit kombinierten Stimulation des D2 und D3 wurde berechnet und aus dem gemessenen Signal subtrahiert, was zur dem „Fehler“ Varianz führt. Unten: Variance Ergebnisse in grafischer Form für alle Probanden und Patienten mit Dystonie.

Ergebnisse: FHD Patienten zeigen im Vergleich mit der Kontrollgruppe eine signifikant höhere Aktivität im kontralateralen sensomotorischen Cortex. Dieses Ergebnis ist kontrastiert mit einer beidseitigen auffällig tiefen Aktivität der Prämotorischen Rindenfelder. Die Ergebnisse wurden auch schon von anderen Studien betätigt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Untersuchungen mit Musikern mit FHD zeigen, dass sowohl der M1 als auch der sensorische Cortex verändert sind. Seine Erklärungen für die Ursache einer FHD gehen weitgehend in die Richtung, dass die Abgrenzung der Primären Rindenfelder der einzelnen Finger nicht mehr gemacht werden kann- also ein sensomotorisches Durcheinander besteht.

Der Review von S.Beck, und M. Hallett (2011) zeigt zusammenfassend nochmals die

wichtigsten Punkte auf. Im Falle einer FHD ist in der entsprechenden Region des M1 ein Defizit festzustellen. Die Fähigkeit, präzise Fingerbewegungen durchzuführen, ist gestört. Bei einer FHD gibt es einen pathologischen Überfluss der Aktivierung der Muskulatur, die an der Bewegung gar nicht beteiligt ist. Bei einer FHD ist der Bewegungsapparat intakt, jedoch ist der Mechanismus der SI gestört. Es ist allerdings auch noch unbekannt wie SI bei gesunden entsteht. Die SI ist bei komplexen und schwierigen motorischen Aufgaben erhöht. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die SI bei einzelnen feinen Fingerbewegungen ein wichtiger Mechanismus ist.

Weiter ist unklar, ob der Effekt im Cortex entsteht, oder ob die motorischen Signale von den Basalganglien den Effekt auslösen oder steuern.

Der gestörte Mechanismus der SI könnte im Grunde die Ursache für die FHD sein. So wie die FHD die Ursache für einen gestörten Mechanismus der SI sein könnte. Der kausale Zusammenhang ist noch nicht bekannt.

In der Vergangenheit wurde gezeigt, Beispielsweise in einer Studie von P. Kassavetis et al. (2012), dass durch Training und einer damit einhergehenden Leistungsverbesserung auch eine Erhöhung der SI erzielt werden kann.

Ebenso ist bekannt, dass sehr häufig durchgeführtes feinmotorisches Training zu motorischen Beeinträchtigungen führen kann, was am Beispiel von Patienten mit Dystonie gesehen werden kann. Patienten mit diesem Krankheitsbild haben eine defizitäre SI während der Bewegungsinitiierung.

Diese Tatsachen werfen die Frage auf was mit Pianisten ist, die keine FHD entwickeln. Haben diese eine erhöhte SI aufgrund ihres langjährigen Trainings?

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die SI bei Pianisten und Nichtpianisten (Kontrollgruppe) zu untersuchen, um eventuell vorliegende Unterschiede der SI in einer funktionellen Aufgabe zu evaluieren.

1.3 Ziel und konkrete Fragestellung oder Hypothesen

Ist ein Unterschied der SI zwischen Pianisten zu nicht Pianisten sichtbar? Es ist anzunehmen, dass die SI eine Vorbedingung ist, um überhaupt selektiv zu arbeiten.

Es werden zwei Gruppen getestet: gesunde Pianisten und eine Kontrollgruppe

Ziel ist es, den Einfluss der SI bei präzisen und komplexen Fingerbewegungen zu untersuchen.

surround inhibition von Pianisten	=	surround inhibition von Kontrollgruppe
-----------------------------------	---	--

Nullhypothese

surround inhibition von Pianisten	≠	surround inhibition von Kontrollgruppe
-----------------------------------	---	--

Alternativhypothese

2 Methode

2.1 Untersuchungsanordnung

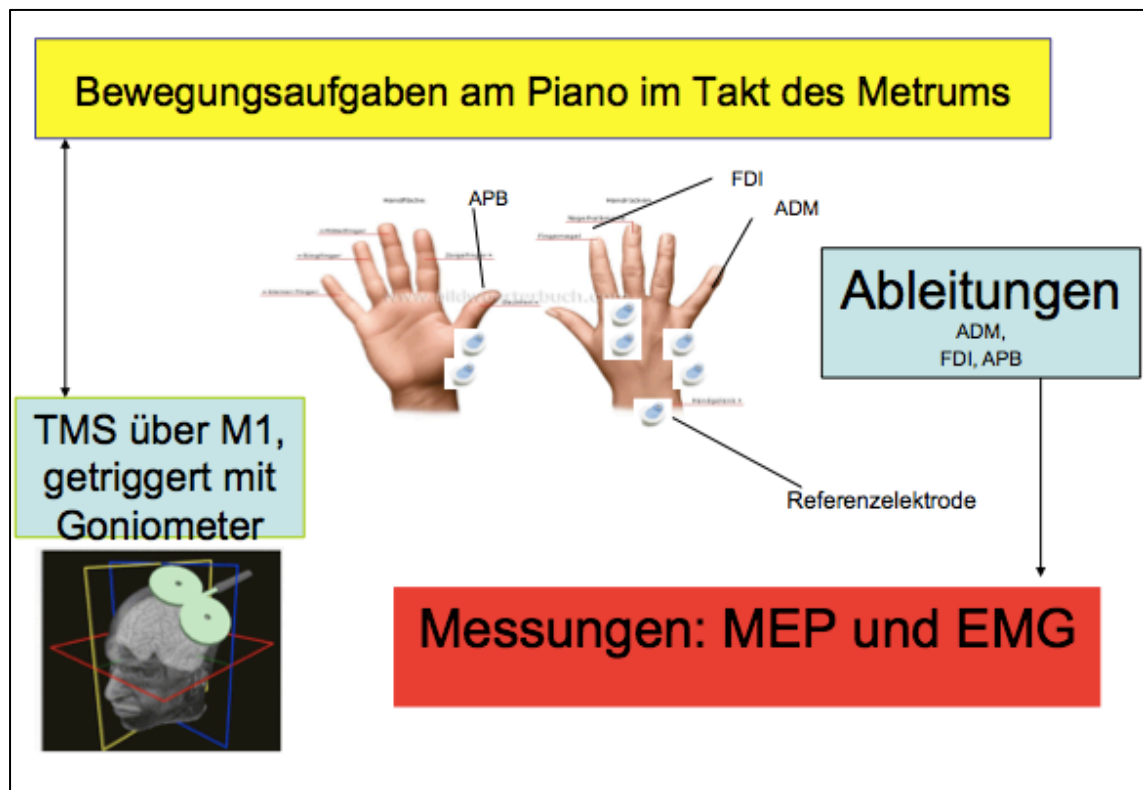


Abb. 24: Versuchsanordnung Schema

TMS

Gemäss Hallet M. (2007) ist die Transkranielle Magnetstimulation, kurz TMS, eine nicht invasive Technologie, bei der mit Hilfe starker Magnetfelder Bereiche des Gehirns sowohl stimuliert als auch gehemmt werden können. Die Technik kann verwendet werden, um die Funktionen des Hirns abzubilden, oder die Erregbarkeit von verschiedenen Hirnregionen zu testen. TMS kann auch angewendet werden, um die Grösse der sensorischen und motorischen Rindenfelder von einzelnen Muskeln auf dem Cortex zu orten (Cortical Mapping). Damit ist die TMS ein nützliches Werkzeug in der neurowissenschaftlichen Forschung.

Die TMS nutzt das physikalische Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Eine tangential am Schädel angelegte Magnetspule erzeugt ein kurzes Magnetfeld von typis-

cherweise 100 μ s Dauer mit einer magnetischen Flussdichte von bis zu 2 Tesla. Die dadurch ausgelöste elektrische Potentialänderung in der schädelnahen Hirnrinde bewirkt eine Depolarisation von Neuronen mit Auslösung von Aktionspotentialen. So kann man mit der Magnetstimulation, über dem M1, Muskelzuckungen auslösen.

Alle Teile des Gehirn können durch TMS stimuliert oder gehemmt werden. Bei den meisten Studien wird die Stimulation über dem M1 angewendet. Von wissenschaftlichem Interesse ist vor allem die kurzfristige Störung einer kleinen Hirnregion, um deren physiologische Funktion zu untersuchen. Ebenfalls von diagnostischem Interesse ist die Veränderung von Reizschwellen bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen wie zum Beispiel bei Parkinson oder FHD. Bei Vorinnervation eines Muskels führt diese zu Veränderungen der Reizschwelle, die mit der TMS messbar sind. TMS wird auch zu Therapie Zwecken angewendet. Dabei werden kurze repetitive TMS Impulse abgegeben.

Welcher Zielmuskel sich kontrahiert ist abhängig davon, welcher Teil des M1 stimuliert wird. Bei der vorliegenden Arbeit wurde zur Untersuchung der SI, der M1 gereizt, um MEP messen zu können. Zeigt sich eine Verkleinerung der MEP-Grösse im Vergleich zum Ruhe MEP, so kann von einer SI im benachbarten Muskel ausgegangen werden. Denn vom M1 läuft die Erregung in der direkten Kortikospinalen Bahn, einem wichtigen Teil des willkürmotorischen Systems ("Pyramidenbahn"), zu den Motoneuronen im Vorderhorn des Rückenmarks. Von dort wird sie in den efferenten Nerven zum Muskel geleitet und löst eine Kontraktion aus. Die MEP, sind mit Elektroden relativ einfach abzuleiten.

EMG

Die Elektromyographie ist eine Untersuchungsmethode der Neurophysiologie, welche die natürlicherweise auftretende elektrische Spannung in einem Muskel misst ("Ableitung"). Mit der Methode kann festgestellt werden, ob eine Erkrankung des Muskels bzw. eine Reizleitungsstörung des versorgenden Nerven vorliegt. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von EMG Messungen. Das Oberflächen- EMG und das Nadel-EMG. Das Oberflächen-EMG wird mit aufgeklebten Elektroden (z.B. auf die Hautober-

fläche) durchgeführt. Hierbei lassen sich jedoch keine Rückschlüsse auf die Aktivität einzelner Muskelfasern ziehen. Die Methode eignet sich eher für die Bestimmung der Zeitverzögerung zwischen Reiz und Muskelkontraktion.

Bei der Nadel-EMG werden kleine Nadeln, die als Elektroden fungieren, direkt in den Muskel gestochen. So ist eine wesentlich genauere Erfassung der Aktivität einzelner Muskelfasern möglich. Hierzu werden Signalverstärker eingesetzt. Computer können diese Spannungsunterschiede auch in akustische Signale umwandeln, welche dann beispielsweise als Rauschen wahrgenommen werden können.

(<http://flexikon.doccheck.com/de/Elektromyographie>, Zugriff am 6.3.2012)

Neben seinem Einsatz in physiologischen und biomechanischen Grundlagenexperimenten ist das kinesiologische EMG als objektive Untersuchungsmethode in der allgemeinen angewandten Forschung etabliert, insbesondere im Bereich klinischer und sportmedizinischer Fragestellungen, in der Sportwissenschaft, Physiotherapie, Rehabilitation und Arbeitswissenschaft. Kinesiologisches EMG braucht eine Bewegungstriggerung. Dies kann beispielsweise mit Nutzen von Goniometern gemacht werden. (Konrad P. 2005.)

MEP

Die magnetisch evozierten Potenziale, abgekürzt MEP, werden mit magnetischen Strömen an den Nervenzellen ausgelöst. Mit Hilfe von Oberflächenelektroden auf den Armen und Beinen können dann - je nachdem, für welche Funktion das erregte Gehirn-Areal verantwortlich ist - Potenziale an den Muskeln dieser Extremitäten abgeleitet werden. Gemessen wird die Zeit von der Reizung der Hirnnerven bis zur Muskelantwort. Um zwischen der Reizweiterleitung im Gehirn und der Reizweiterleitung im Rückenmark unterscheiden zu können, ist es auch möglich Bereiche des Rückenmarks auf der Höhe der Nackenwirbel oder der Lendenwirbel zu reizen.

(<http://www.lunea.ch/multiple-sklerose/wie-ms-diagnostiziert-wird/diagnose/evozierte-potenziale/> Zugriff am 11.8.13)

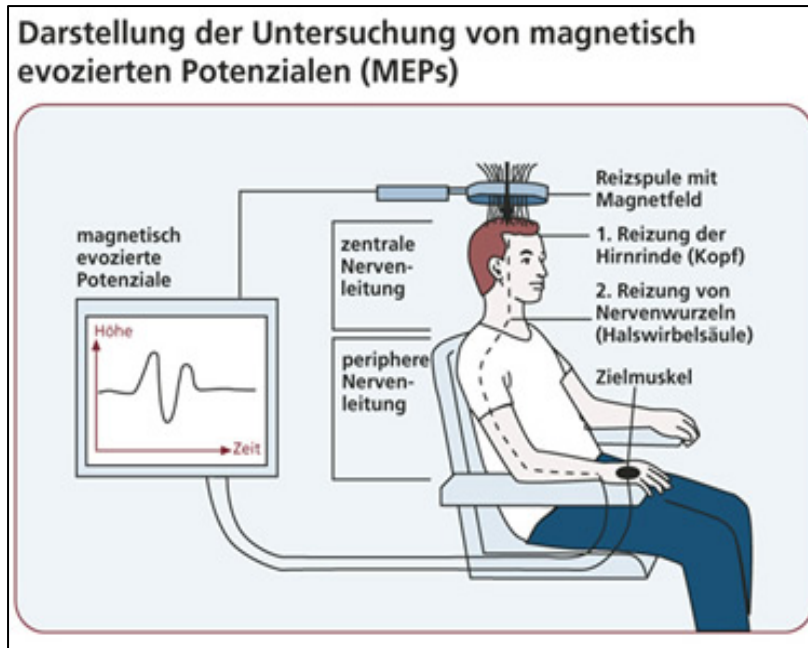


Abb. 25: Darstellung und Untersuchung von Magnetisch Evozierten Potentialen (MEPs)

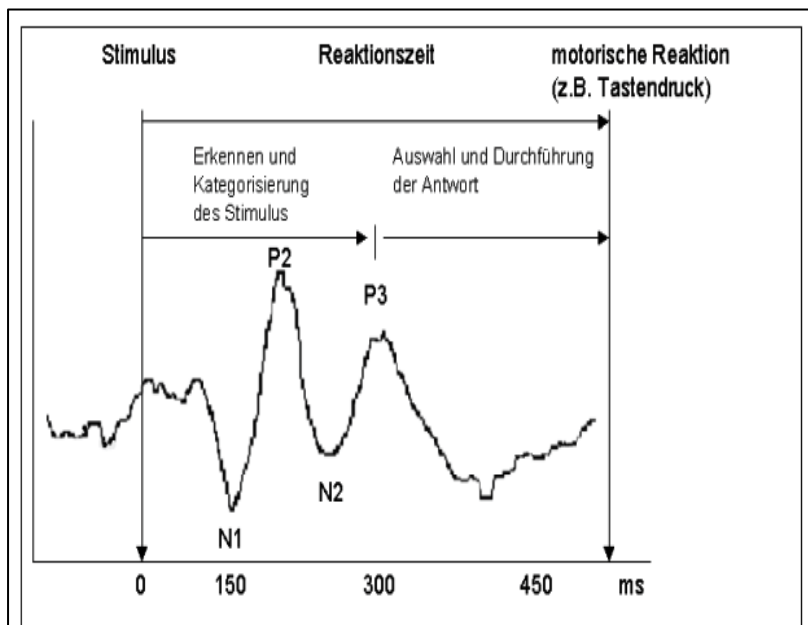


Abb. 26: Reaktion Stimulus-Kontraktion.

2.2 Untersuchungsablauf

Der Proband sitzt auf einem bequemen Stuhl. Der rechte Arm liegt locker ausgestreckt, unterpolstert und bis zum Handgelenk abgestützt auf einer Stützfläche auf. Die Distanz vom Stuhl bis zum Piano wird individuell angepasst, so dass eine entspannte Haltung des Handgelenks zum Piano möglich ist. Es wurde darauf geachtet, dass die Handmuskeln durch die Position des Arms so gut wie möglich entspannt sind. EMG Elektroden werden an den folgenden drei Muskeln angebracht: FDI (first dorsal interosseus muscle), APB (abductor pollicis brevis) und am ADM (abductor digiti minimi). Die Referenzelektrode wurde am distalen Radiusende angebracht.

Eine Figure of 8 coil TMS Spule (DB80) der Firma MagVenture, mit 3.5 cm Innendurchmesser wird an der linken Seite des Kopfes, über dem M1 positioniert. Der „motor hotspot“ des FDI (first dorsal interosseus muscle) wird mit einem schwachen Impuls (Stimulator; MagPro with Option) gesucht und die Position der Spule justiert sowie auf der Kopfhaut dezent markiert, damit die Spule nicht verutscht. Die Stärke des Stimulus beträgt 140% der Motor Threshold (Reizschwelle).



Abb. 27: Versuchsanordnung



Abb. 28: Nahaufnahme Goniometer

Messbedingungen

Es werden zwei verschiedene Bedingungen gemessen. Die TMS Impulse werden in der Phase der prämotorischen- und phasischen Phase der Bewegung abgegeben.

Zum einen die „Preperation“, hier wird mit einem Delay von 450 Millisekunden bei der prämotorischen Phase der Bewegung ein TMS Impuls ausgelöst. Diese 450 Millisekunden entsprechen der berechneten Zeit, die der Finger braucht, um die Taste loszulassen und erneut auf die Taste zu drücken.

Zum anderen die „Phasic“, bei dieser Bedingung wird der TMS Impuls erst ausgelöst wenn der Finger die Pianotaste drückt. Die Bedingung „Phasic“ misst in der phasische Phase der Bewegung. Die Triggerung erfolgt mittels der Goniometer, die an den Tasten angebracht sind.

Die MEP werden am FDI, APB und am ADM gemessen. Von diesen drei Muskeln wird gleichzeitig auch ein Hintergrund EMG erstellt. Das Hintergrund EMG lässt erkennen, ob stark erhöhte MEP durch unterschiedlich starke Krafteinsätze (Tastendruck auf das Piano) verursacht worden sind, oder ob die MEP Erhöhungen auf die tiefere SI schließen lässt.

Bewegungsaufgaben

Die Untersuchung wird mit einem dreiteiligen Protokoll gemessen. Zuerst wird nur Einfinger-, dann werden Zweifinger- und am Schluss Dreifingerbewegungsabfolgen getestet. Die Fingerbewegungsabfolgen mit einem Finger werden in der Auswertung die «Single Finger Condition» genannt. Die Fingerabfolgen mit zwei Fingern werden entsprechend «Two Finger Condition» und mit drei Fingern «Three Finger Condition» genannt. Das Metronom gibt mit 90 Schlägen pro Minute das Tempo der Tastenanschläge vor. Das heisst alle 0.67 Sekunden wird eine Pianotaste gedrückt.

Bei der ersten Messung, der « Single Finger Condition », ist jeweils nur ein Fingermuskel aktiv.

ADM, FDI, APB

Bei der zweiten Messung, der «Two Finger Condition», sind jeweils zwei Fingermuskeln im Wechsel aktiv.

FDI-APB, FDI-ADM, APB-FDI , APB-ADM, ADM-FDI, ADM-APB

Bei der dritten Messung, der «Three Finger Condition» sind jeweils im Wechsel alle drei Fingermuskeln aktiv.

ADM-FDI-APB, usw.

Die Triggerung der TMS Impulse erfolgt bei der « Single Finger Condition » und der «Three Finger Condition» wie in den Bedingungen « Preperation » und « Phasic » beschrieben.

Bei der «Two Finger Condition» wird jeweils auf den erstgenannten Muskel getriggert. Beispielsweise bei FDI-APB wird auf den FDI getriggert.

2.3 Untersuchungsgruppe

Es wurden zwei Gruppen getestet: gesunde Pianisten und eine Kontrollgruppe. Die Personen sind Studierende oder Mitarbeiter der Universität Freiburg, sowie aus dem Freundes- und Bekanntenkreis. Das Stichprobensampling ist willkürlich und somit nicht randomisiert.

Tab. 1: MW und SD der Kenngrößen der Probandengruppe

	SUBJECTS	Age	Weigth	Heigth	RMT(%)	140%RMT	Handedness	Experience (years)
MUSICIANS	12	28.9	69.0	172.5	39.0	54.6	10R/2L	16.1
±		8.1	14	9.6	7.1	10.3		5.3
CONTROLS	13	27.9	74.3	177.8	39.8	54.8	13R	
±		3.8	9.5	9.1	9.8	11.8		

2.4 Untersuchungsinstrumente

Piano, Metronom, Goniometer, Figure of 8 coil der Firma MagVenture (Spule: DB80, Stimulator: MagPro with Option), EMG- Gerät der Marke EISA (Freiburg i. Br.), Vorverstärker haben einen Bandpassfilter 10-1000 Hz, Vorverstärkung: 1000 fach, Software Imago record (LabView basiert), Testprotokoll.

2.5 Untersuchungsauswertung

Um die SI zu messen, werden immer zwei MEPs miteinander verglichen. Das bedeutet, das MEP in Ruhe entspricht 100% und das MEP, das während Aktivität aufgezeichnet wird, wird in Prozent des Ruhe-MEP ausgedrückt.

Ist also ein Ergebnis kleiner eins, liegt somit eine SI in den umliegenden Muskeln vor.

Ist beispielsweise der FDI aktiv, wird in diesem Fall die SI für ADM und APB ausgewertet usw.

Zusätzlich wird die Muskelaktivität ausgewertet.

In der Zeit vor der Stimulation durch TMS wird die Hintergrundaktivität im EMG analysiert (Background EMG).

Das Background EMG ist die Messung der Aktivität, die das Nervensystem für die Bewegung produziert. Liegt beim Zeitpunkt des TMS Impulses mehr Hintergrundaktivität vor, so wird automatisch ein grösserer MEP gemessen.

Folglich wird die Hintergrund-EMG-Aktivität überprüft, um Einflüsse der aktuellen Muskelaktivität auf die MEP-Grösse überprüfen zu können.

Alle Berechnungen wurden mit einem allgemeinen linearen Modell mit Messwiederholung (ANOVA) gerechnet. (* $P < 0.05$)

3 Resultate

Bei den ersten Messungen wurden die «single Finger» Bedingungen gemessen. Die gemessenen MEP sind in Prozent der Control MEP angegeben, welche immer in Ruhe gemessen wurden. Ist die Prozentzahl kleiner als 100%, so ist das Kontroll-MEP grösser als das MEP während der Bewegung, weshalb man davon ausgeht, dass das MEP gehemmt wurde. Sind zudem alle beeinflussenden Parameter (z.B. Hintergrund-EMG) konstant, so spricht man für die MEPs der nicht-aktiven Muskeln von SI. Die Zeitpunkte der TMS-Impulse wurden zum einen auf die Preparation der Fingerbewegung, das heisst 450ms vor dem Tastenkontakt ausgelöst und zum andern in der Phasic, das heisst, wenn der Finger auf die Pianotaste drückte. Bei jeder Messung wurde ein Hintergrund EMG erstellt.

Aus Übersichtlichkeitsgründen ist nicht alles im Detail dargestellt. Die «Three Finger Condition» wurden ganz weggelassen, da auch anhand dieser keine anderen Erkenntnisse dargestellt werden können als mit der «Single Finger Condition» und der «Two Finger Condition».

3.1 Auswertung «Single Finger Condition»

3.1.1 Messung der SI in FDI und ADM bei Triggerung auf APB

In diesem Abschnitt sind die Resultate für einen aktiven APB dargestellt. Das bedeutet, dass die TMS-Pulse anhand der Aktivität des Daumens getriggert wurden: zum einen in der Vorbereitungsphase zum Tastendruck (Preperation, 450 ms Bedingung) und zum andern bei Tastendruck (Phasic). Folglich wurde die SI in den beiden nicht an der Bewegung beteiligten Muskeln gemessen. Diese sind in dieser Bedingung der FDI und der ADM.

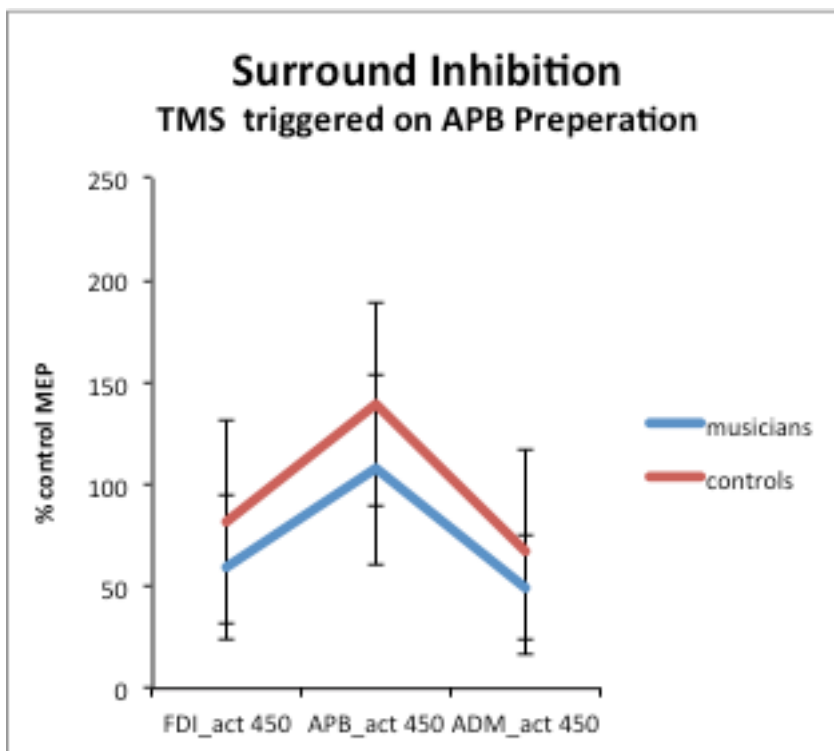


Abb. 29: Messung der SI (% control MEP) in FDI und ADM bei Triggerung auf APB in Präparationsphase der Bewegung.

In Abbildung 29. für die SI des APB (abductor pollicis brevis) ist sehr deutlich zu sehen, dass die MEP-Größen bei FDI_act und ADM_act im APB kleiner sind. Das bedeutet also, dass im ADM und FDI die Hemmung der neuronalen Impulse bei aktiven APB deutlich vorhanden ist. Die MEP-Größen der Untersuchungsgruppe Musicians liegen bei allen drei Messungen (FDI_act, APB_act, ADM_act) unterhalb der Controls. Es muss allerdings betont werden, dass diese Unterschiede zwischen den beiden Gruppen

nicht-signifikant sind (alle Tests am Ende des Kapitels dargestellt) und man somit schlussfolgern muss, dass keine signifikant grössere/kleinere SI in einer der beiden Gruppen vorliegt.

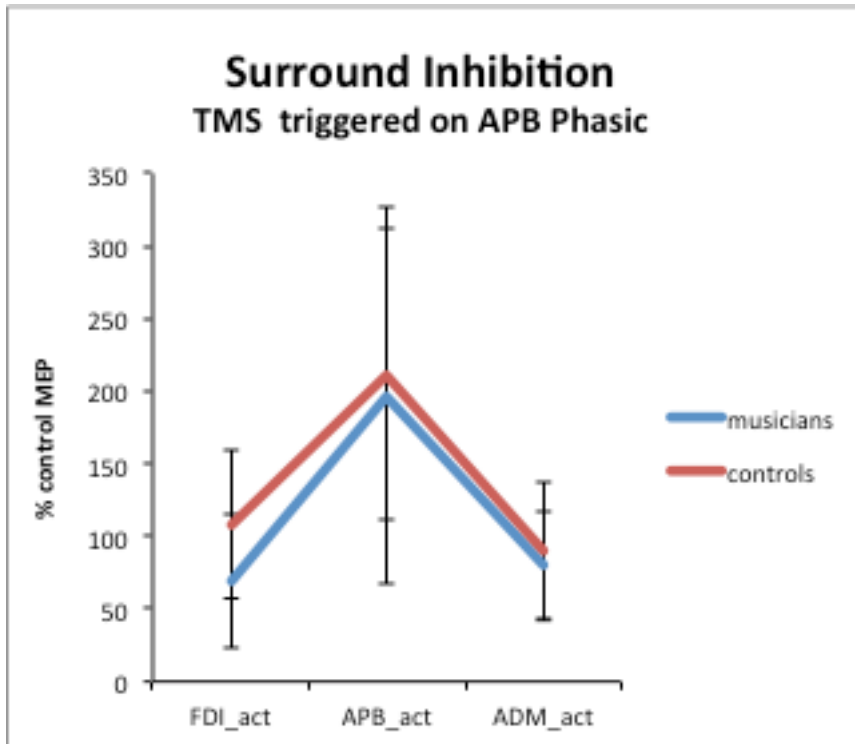


Abb. 30: Messung der SI (% control MEP) in FDI und ADM bei Triggerung auf APB in phasischer Phase der Bewegung.

In Abbildung 30. im Vergleich mit Abbildung 29. ist ebenfalls der Effekt der unterschiedlichen Zeitpunkte der TMS-Stimulation (Preperation, Phasic) im Bezug auf die Fingerbewegungen zu sehen. Die MEP bei APB_act in der Phasic bei den Controls sind im Bereich von 200% des Ruhe MEP, während die MEP bei APB_act450 in der Preperation bei den Controls im Bereich von 140% liegt.

Wie in Abbildung 29. und 30. zu sehen ist, liegen nur für den FDI_act450 und den ADM_act450 sowie ADM_act, die Prozentwerte unter 100%. Somit liegt nur für diese Muskeln eine SI vor. Dies ist jedoch nicht verwunderlich, da auf den APB getriggert wurde und dieser Muskel somit als „aktiv“ klassifiziert werden kann. Es ist folgerichtig, dass für diesen Muskel die Prozentwerte über 100% liegen, da solche Vor-Aktivität bahnend auf das MEP wirkt und man somit ein grösseres MEP erwarten kann als in der Ruhebedingung. Die beschriebenen Unterschiede sind statistisch nicht-signifikant.

3.1.2 Messung der SI in FDI und APB bei Triggerung auf ADM

In diesem Abschnitt sind die Resultate für einen aktiven ADM dargestellt. Das bedeutet, dass die TMS-Pulse anhand der Aktivität des Kleinfingers getriggert wurden: zum Einen in der Vorbereitungsphase zum Tastendruck (Preperation, 450 ms Bedingung) und zum Andern bei Tastendruck (Phasic). Folglich wurde die SI in den beiden nicht an der Bewegung beteiligten Muskeln gemessen. Diese sind in dieser Bedingung der FDI und der APB.

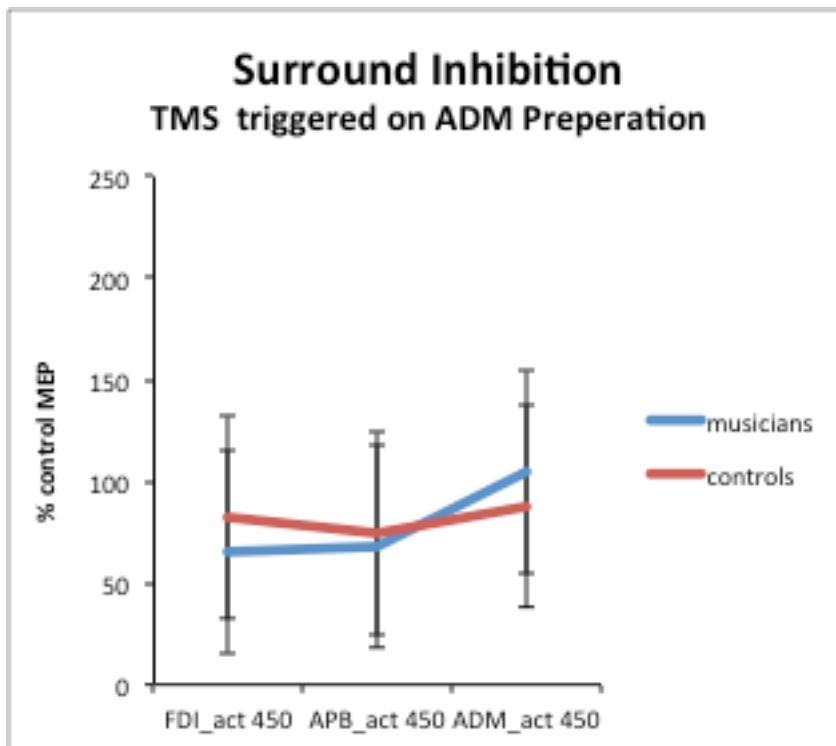


Abb. 31: Messung der SI (% control MEP) in FDI und APB bei Triggerung auf ADM in Präparationsphase der Bewegung.

Auf Abbildung 31. für die SI des ADM (abductor digiti minimi) ist in den beiden Phasen (Preperation und Phasic) nicht die selbe klare Aussage zu machen. Die MEP der Kontrollgruppe sind bei Preperation FDI_act450 und APB_act450 nicht-signifikant grösser als bei den Musikern. Jedoch bei ADM_act 450 ist die MEP der Musiker nicht-signifikant grösser.

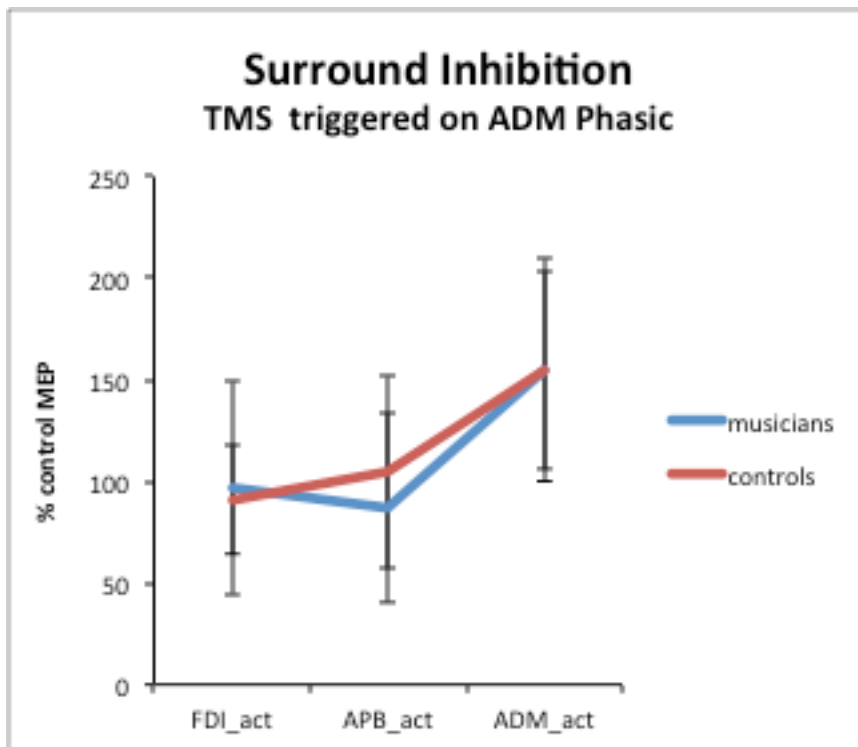


Abb. 32: Messung der SI (% control MEP) in FDI und APB bei Triggerung auf ADM in phasischer Phase der Bewegung.

In der Phasic wenn der ADM activ ist (Abb. 32), ist die MEP-Grösse bei APB_act und ADM_act bei den Musikern nicht-signifikant kleiner. Bei FDI_act ist die MEP-Grösse bei der Kontrollgruppe jedoch nicht-signifikant kleiner.

Wie in Abbildung 31. und 32. zu sehen ist, liegen für beide Gruppen nur in den FDI_act450 und den APB_act450 sowie FDI_act und (APB_act nur Musicans), die Prozentwerte unter 100%. Somit liegt nur für diese Muskeln eine SI vor. Dies ist jedoch nicht verwunderlich, da auf den ADM getriggert wurde und dieser Muskel somit als „aktiv“ klassifiziert werden kann. Es ist folgerichtig, dass für diesen Muskel die Prozentwerte über 100% liegen, da solche Vor-Aktivität bahnend auf das MEP wirkt und man somit ein grösseres MEP erwarten kann als in der Ruhebedingung.

Die beschriebenen Unterschiede sind statistisch nicht-signifikant.

3.1.3 Messung der SI in APB und ADM bei Triggerung auf FDI

In diesem Abschnitt sind die Resultate für einen aktiven FDI dargestellt. Das bedeutet, dass die TMS-Pulse anhand der Aktivität des Zeigefingers getriggert wurden: zum Einen in der Vorbereitungsphase zum Tastendruck (Preperation, 450 ms Bedingung) und zum Andern bei Tastendruck (Phasic). Folglich wurde die SI in den beiden nicht an der Bewegung beteiligten Muskeln gemessen. Diese sind in dieser Bedingung der ADM und der APB.

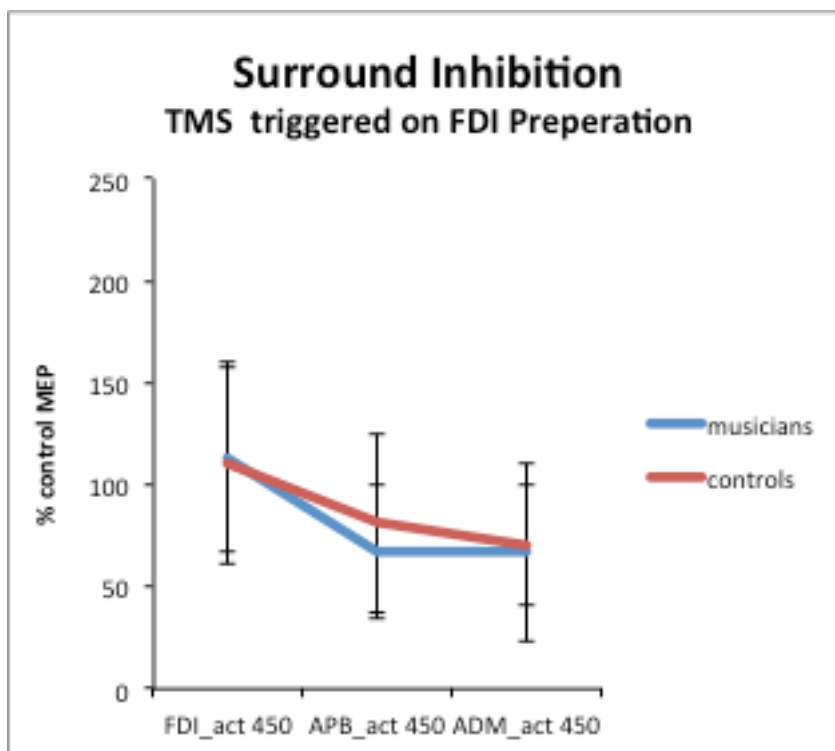


Abb. 33: Messung der SI (% control MEP) in APB und ADM bei Triggerung auf FDI in Präparationsphase der Bewegung.

Bei Abbildung 33. für die MEP-Grösse des FDI (first dorsal interosseus muscle) ist in der Preperation folgende Aussage zu machen.

Die MEP der Musiker sind bei der Preperation im APB_act450 und ADM_act450 nicht-signifikant kleiner als bei der Kontrollgruppe. Jedoch bei FDI_act450 ist die MEP-Grössen der Kontrollgruppe nicht-signifikant kleiner.

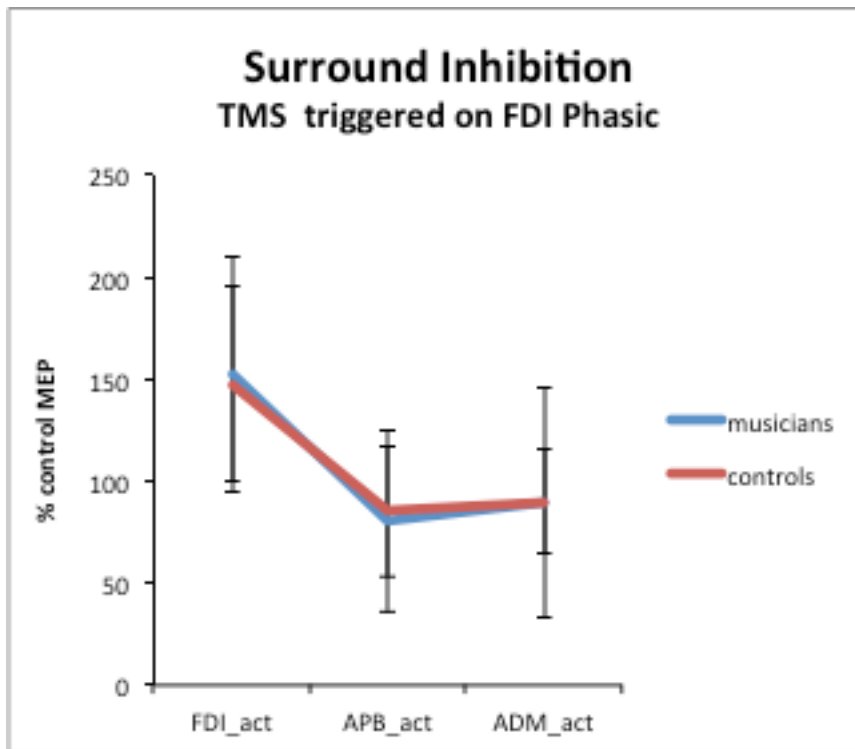


Abb. 34: Messung der SI (% control MEP) in APB und ADM bei Triggerung auf FDI in phasischer Phase der Bewegung.

In der Phasic (Abb. 34) wenn der FDI aktiv ist, ist die MEP-Grösse bei APB_act und ADM_act bei den Musikern nicht-signifikant kleiner. Bei FDI_act ist die MEP-Grösse bei der Kontrollgruppe jedoch nicht-signifikant kleiner.

Wie in Abbildung 33. und 34. zu sehen ist, liegen für beide Gruppen nur in den ADM_act450 und den APB_act450 sowie ADM_act und APB_act, die Prozentwerte unter 100%. Somit liegt nur für diese Muskeln eine SI vor. Dies ist jedoch nicht verwunderlich, da auf den FDI getriggert wurde und dieser Muskel somit als „aktiv“ klassifiziert werden kann. Es ist folgerichtig, dass für diesen Muskel die Prozentwerte über 100% liegen, da solche Vor-Aktivität bahnend auf das MEP wirkt und man somit ein grösseres MEP erwarten kann als in der Ruhebedingung.

Die beschriebenen Unterschiede sind statistisch nicht-signifikant.

3.1.4 Statistik der «Single Finger Condition»

Die Statistik der «Single Finger Condition» ergeben in der ANOVA folgendes :
Zwischensubjektfaktoren Gruppe (Pianisten vs. Kontrollgruppe) und Innersubjektfaktoren (FDI vs. APB vs. ADM) und Aktiver Muskel (=Bedingungen) (aktiver FDI, vs. Aktiver APB, vs. Aktiver ADM) dies ergibt eine Matrix der Form {(Gruppe (2) * Muskeln (3) * aktiver Muskel/Bedingung (3))}.

Aktiver Muskel*Gruppen-Effekt: $F_{2;46}=2.35$; $p=0.11$

Bedingung*Gruppen-Effekt: $F_{2;46}=0.95$; $p=0.40$

Aktiver Muskel*Bedingung*Gruppen-Effekt: $F_{4;92}=0.23$ $p=0.92$

Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede in der SI zwischen den Pianisten und der Kontrollgruppe gefunden werden.

Auswertung Hintergrund EMG «Single Finger Condition»:

Die muskuläre Hintergrund-Aktivität ist nicht-signifikant zwischen den Gruppen und den Bedingungen (Gruppe*Bedingung-Effekt: $F_{2;46}=0.60$; $p=0.55$).

3.2 Auswertung «Two Finger Condition»

In diesem Abschnitt sind die Resultate dargestellt, die unter den «Two Finger Condition» gemessen wurden. Bei diesen Tastenkombinationen waren immer zwei Finger aktiv. Bei allen drei Muskeln (APB, FDI, ADM) wurden immer alle möglichen Zweifingerkombinationen gemessen, also pro Muskel sechs Kombinationen. Getriggert wurde jeweils auf den erstgenannten Muskel (Bsp. bei FDI-APB, wurde auf den FDI getriggert). Die gemessenen MEP sind in Prozent der Control MEP angegeben. Diese wurden immer in Ruhe gemessen.

3.2.1 Messung der SI in FDI bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM

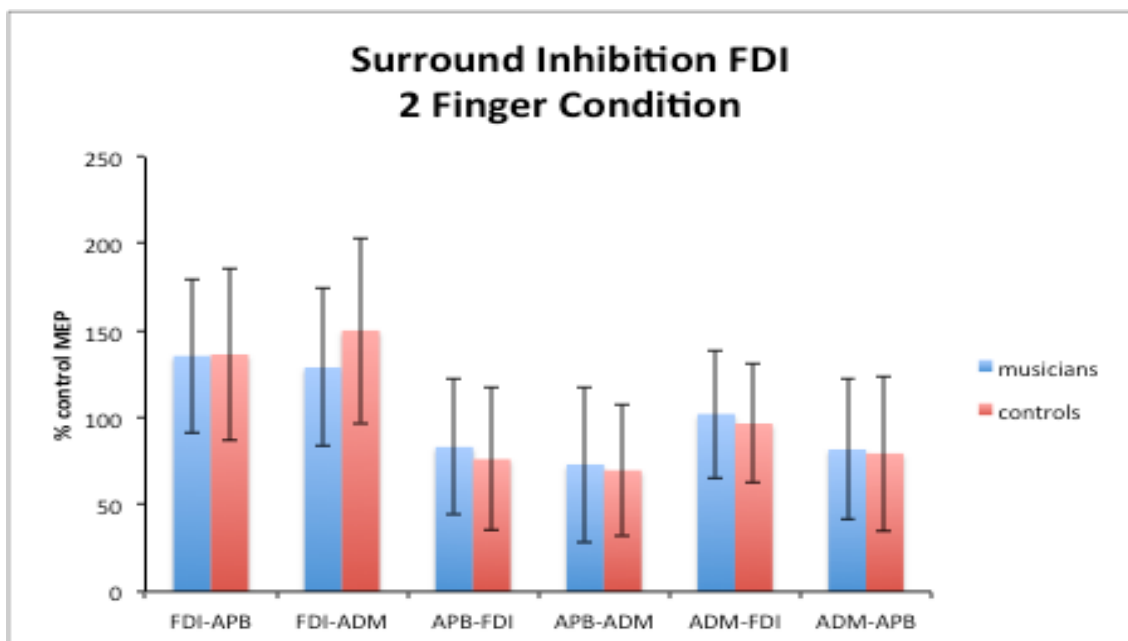


Abb. 35: FDI SI (% control MEP) bei Two Finger Condition

Auf Abbildung 35. für die SI des FDI (first dorsal interosseus muscle) bei den «Two Finger Condition», ist folgende Aussage zu machen. Bei der Messung des FDI-APB und FDI-ADM sind die grössten MEP-Werte gemessen worden. Da der FDI aktiv ist und auch gemessen wird ist es folgerichtig. Dies zeigt nochmals deutlich, dass durch die Vorinnervation der Muskulatur ein höherer MEP-Wert resultiert. Die grafisch dargestellten Unterschiede der MEP-Werte beider Gruppen sind statistisch nicht-signifikant.

3.2.2 Messung der SI in APB bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM

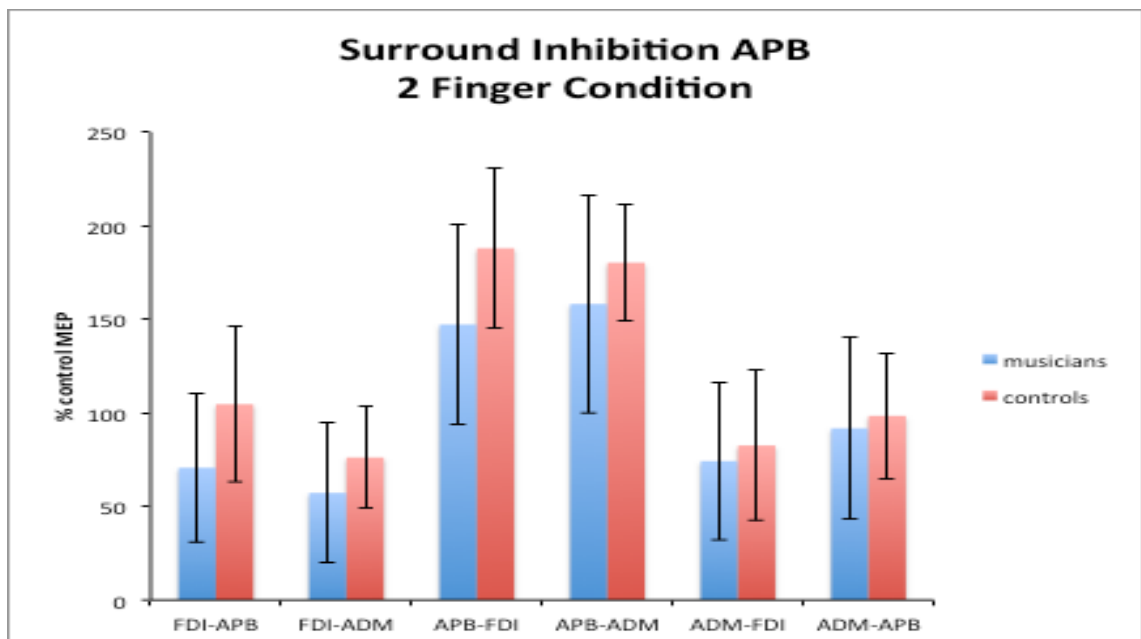


Abb. 36: APB SI (% control MEP) bei Two Finger Condition

Auf Abbildung 36. für die SI des APB (abductor pollicis brevis) bei den «Two Finger Condition», ist folgende Aussage zu machen.

Bei der Messung des APB-FDI und APB-ADM sind die grössten MEP-Werte gemessen worden. Da der APB aktiv ist und auch gemessen wird, ist es folgerichtig. Dies zeigt nochmals deutlich, dass durch die Vorinnervation der Muskulatur ein höherer MEP-Wert resultiert. Die grafisch dargestellten Unterschiede der MEP-Werte beider Gruppen sind statistisch nicht-signifikant.

3.2.3 Messung der SI in ADM bei Triggerung auf je zwei mal FDI, APB, ADM

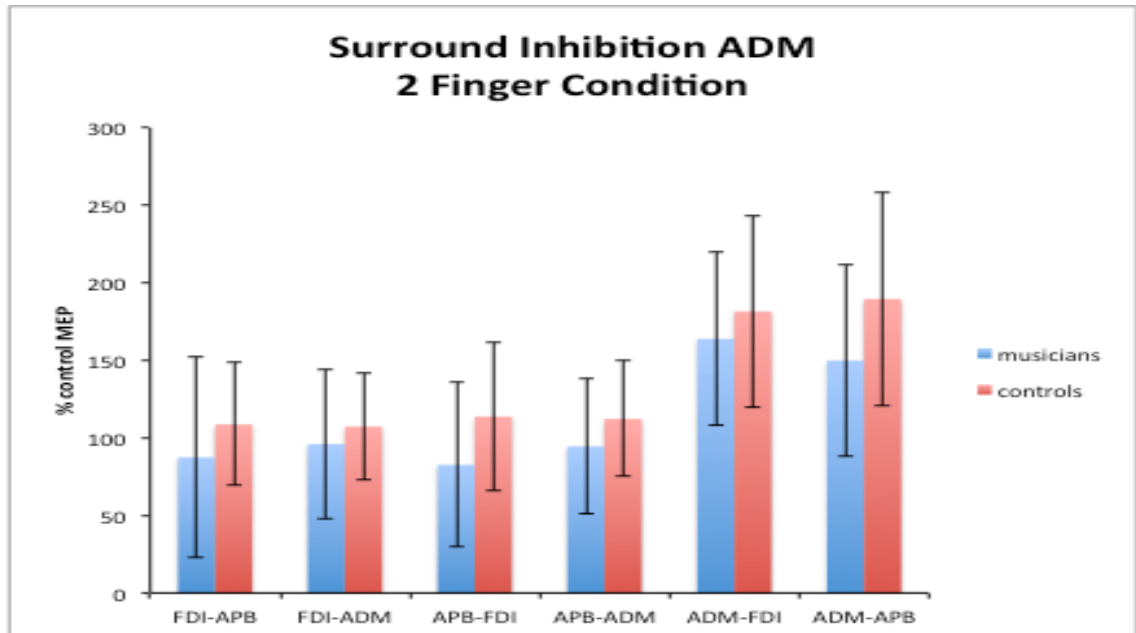


Abb. 37: ADM SI (% control MEP) bei Two Finger Condition

Auf Abbildung 37. für die SI des ADM (abductor digiti minimi) bei den «Two Finger Condition», ist folgende Aussage zu machen.

Bei der Messung des ADM-FDI und ADM-APB sind die grössten MEP-Werte gemessen worden. Da der ADM aktiv ist und auch gemessen wird, ist es folgerichtig. Dies zeigt nochmals deutlich, dass durch die Vorinervation der Muskulatur ein höherer MEP-Wert resultiert. Die grafisch dargestellten Unterschiede der MEP-Werte beider Gruppen sind statistisch nicht-signifikant.

3.2.4 Statistik der «Two Finger Condition»

In der Statistik der «Two Finger Condition» ergeben sich in der ANOVA keine statistisch signifikanten Unterschiede in der SI zwischen den beiden Gruppen.

Aktiver Muskel*Gruppen-Effekt: $F_{2;46}=0.99$; $p=0.38$ Bedingung*Gruppen-Effekt: $F_{3;69}=0.54$; $p=0.65$; aktiver Muskel*Bedingung*Gruppen-Effekt: $F_{6;138}=0.91$ $p=0.49$

Auswertung Hintergrund EMG «Two Finger Condition»:

Auch bei der Bedingung mit zwei Fingern unterschied sich die muskuläre Hintergrund-Aktivität nicht signifikant zwischen den Gruppen und den Bedingungen (Gruppe*Bedingung-Effekt: $F_{2;46}=0.57$; $p=0.57$).

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie wurde konzipiert um die SI von Pianisten und Nicht-Pianisten erstmals in einer funktionellen Aufgabe zu testen. Die Resultate der Studie zeigen, dass sich die SI bei Pianisten und Nicht-Pianisten, bei einer komplexen motorischen Fingerbewegungsaufgabe am Piano, statistisch nicht-signifikant unterscheiden.

Dies ist entgegen der vorab getroffenen Hypothese, weshalb man die Ergebnisse als überraschend bezeichnen darf. Ausgehend von der bei der Studienplanung publizierten Literatur wurde ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen erwartet.

4.1.1 Studien, die eine Veränderte SI erwarten lassen

Studien, die eine erhöhte SI zeigen

Sugawara K. et al. (2012) zeigen, dass die SI durch im Labor durchgeführtes Training erhöht werden kann. Die Aufgabe bestand aus einer einfachen Fingerbewegung, nämlich mit dem Zeigefinger eine Abduktion zu machen. Diese Bewegung wurde mit 40 Prozent der maximalen willkürlichen Kraftentwicklung (MVC) des FDI Muskels gemacht. Dabei sollte der Kleinfinger möglichst nicht bewegt werden. Die Zielvorgabe war, für den ADM fünf Prozent MVC nicht zu überschreiten. Die Probanden sahen den Monitor der die Kraftlinie anzeigte. Das Training dauerte jeweils dreissig Minuten. Zur Messung wurden TMS und EMG eingesetzt. Die Autoren stellten fest, dass die MEP-Grösse nach einem Training im ADM signifikant verkleinert ist, wohingegen keine signifikanten Anpassungen im FDI gefunden werden konnten. Das heisst, dass die SI, gemessen im ADM, durch Training nur für den nicht-trainierten Muskel erhöht wurde.

Kassavetis P. et al. (2012) zeigen, ebenfalls mit einem im Labor durchgeführten Training, dass die SI trainierbar ist und dass durch eine Vibration (Falschfeedback) im Training die MEP-Grössen verkleinert werden können. Die Aufgabe der dreissig gesunden Probanden bestand darin, einen Knopf mit dem Zeigefinger zu drücken ohne dabei den

Kleinfinger zu bewegen. Dabei wurden über dem M1 der kontralateralen Seite TMS Impulse appliziert und mit Hilfe eines EMGs des Zeigefinger Muskels (ADM) die SI ermittelt. Die SI wurde in einem zweiten Experiment neu bewertet. Im zweiten Experiment wurde in zwei Trainingsblöcken trainiert. Mit einer Vibration wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Bewegung des Zeigefingers der Kleinfinger Muskel (ADM) gestört. Bei der Auslösung der Flexion des Zeigefingers war der erste Zeitpunkt (VIB onset), der zweite Zeitpunkt 100ms nach Bewegungsauslösung (VIB100). Durch die Vibration wurde versucht, das sensorische Feedback zu beeinträchtigen. Die Messungen wurden ebenfalls mit Hilfe von TMS durchgeführt und über dem M1 der kontralateralen Seite stimuliert.

Die Autoren stellen fest, dass nur sensorische Signale (Vibrationen), die eng im Zusammenhang mit dem Bewegungsbeginn induziert werden, eine adaptive Veränderungen der SI auslösen können. Dies war bei den Resultaten von VIBonset der Fall. Die Autoren vermuten, dass dies durch ein Feed-Forward-Verfahren gesteuert wird. Die SI wurde in dieser Untersuchung durch das Training kurzzeitig signifikant erhöht.

Ausgrund der Resultate aus diesen beiden Studien könnte folglich erwartet werden, dass die SI auch dann erhöht ist, wenn Leute über eine lange Zeit trainieren, wie dies z.B. beim Pianospiele der Fall ist.

Studien, die eine tiefere SI zeigen

Interessanterweise haben einige Studien aber einen konträren Effekt gefunden.

Shin Hae-Won et al. (2012) haben sich mit der Frage beschäftigt, wie sich die SI bei zehn professionellen Musikern und fünfzehn Nicht-Musikern (Kontrollgruppe) unterscheidet. Die Aufgabe bestand aus einer einfachen Flexionsbewegung des Zeigefingers zu verschiedenen Intervallen (3ms-1000ms). Die Ableitungen der MEPs wurden am ADM gemessen. Die Autoren zeigen auch den Zusammenhang zwischen jahrelangem Training (kumulierte Praxiszeit) und dem Durchschnitt der gemessenen MEP-Größen auf. Die Korrelation war positiv und signifikant. Das heisst, je mehr Praxisstunden die professionellen Musiker haben, desto grösser waren die gemessenen MEP. Folglich desto kleiner war die SI. Die Autoren vermuten, dass bei Musikern nicht wie bei FHD Patienten eine funktionelle Störung auftritt, sondern dass durch die bessere Kopplung

-Synergie unter den Handmuskeln, eine tiefere SI entstehen könnte.

Ebenfalls einen konträren Effekt haben die Autoren der Studie „Synchronized finger exercise reduces surround inhibition“ gefunden. Denn Kang Suk. Y., Hallet M. und Sohn H. (2012) zeigen, dass die SI durch Training reduziert wird. Für die Untersuchung haben sie Messungen von fünfzehn gesunden Rechtshändern mittels TMS gemacht. Das im Labor durchgeführte Training bestand aus einer Aufgabe einer Einzelfingerbewegung und einer Dualbewegung. Die MEPs wurden im ADM gemessen. Die Messungen wurden zuerst einzeln bei Flexion des Zeigefingermuskels (FDI) bzw. ADM Abduktion durchgeführt. Danach dual, das heisst, gleichzeitige Flexion des FDI und Abduktion des ADM. Der TMS Impuls war 3ms nach Beginn der selbst initiierten Flexion des FDI getriggert. Gemessen wurde zu den Zeitpunkten Null, Zehn, Zwanzig und Dreissig Minuten nach den Fingerübungen. Die Autoren zeigen auf, dass zum einen die SI durch üben reduziert wird und zum andern, dass durch Üben synchroner Bewegungen die SI noch stärker reduziert wird. Die Autoren vermuten, dass dieser Effekt entweder aufgrund der Stärkung der erregenden Verbindungen oder durch Abschwächung der hemmenden Verbindungen zustande kommt. „Diese Feststellung könnte auch die reduzierte SI bei Patienten mit FHD erklären.“, (Kang S.Y. et al. 2012)

Veränderbarkeit der SI in den Bewegungsphasen

Eine weitere wichtige Studie auf deren Erkenntnisse sich die vorliegende Studie stützen konnte, war die Studie von Beck et al. (2008). Die Autoren dieser Studie zeigen, dass die SI, je nach Phase einer Bewegung, unterschiedlich modifizierbar ist. Und das bei FHD Patienten keine SI festzustellen ist. Denn Beck et al. (2008) machten eine Untersuchung zum Thema Surround Inhibition mit einer Gruppe von focal hand dystonia Patienten (FHD) und einer Kontrollgruppe (CON). Die im Labor durchgeführte Aufgabe der Probanden bestand darin, mit dem Zeigefinger auf einen Knopf zu drücken. Die Studie wurde mit Hilfe von TMS und H-Reflex durchgeführt. Mittels Elektroden wurden die MEPs des Daumenmuskels (APB) und des Zeigefingermuskels (FDI) abgeleitet. Die MEPs wurden zudem in vier verschiedenen Phasen der Bewegung gemessen (Rest, Premotor, Phasic, Tonic). Das Resultat der Studie zeigt, dass die Kontrollgruppe (CON) eine Hemmung der MEP Amplitude während der Phase der Bewegungsinizierung (Premotor) und eine Verringerung der MEP Grösse während der Bewegungsausfüh-

runghphase (Phasic) hat. Während der Haltephase (Tonic) der Bewegung wurde jedoch eine Vergrößerung der MEP-Grösse im Bezug auf die Messung in Ruhe festgestellt.

Bei der Untersuchungsgruppe mit FHD, wurden diese beiden Beobachtungen nicht gemacht. Die Hypothese der Studie wird dadurch bestätigt. Die Autoren zeigen dass die SI je nach Zeit und Raum der Bewegung unterschiedlich ist und Einfluss auf die spinale Erregbarkeit hat.

Zusammenfassend kann man sagen, dass offensichtlich zwei verschiedene Anpassungen möglich sind. Folglich sprechen viele Studien dafür, dass für die vorliegende Studie, bei der Messung der SI einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Pianisten und Nicht-Pianisten) erwartet werden kann- auch wenn bei einer sehr realitätsnahen Bewegung getestet wird.

4.1.2 Vergleiche der Untersuchungsbedingungen

Aufgabenvariabilität

Es stellt sich die Frage, weshalb sich die SI der Pianisten in der vorliegenden Studie nicht-signifikant von der SI der Kontrollgruppe unterscheidet.

Dies könnte beispielsweise an der, erstmals verwendeten, komplexen motorischen Bewegungsaufgabe liegen. Die in der Studie verwendete TMS-Delay-Zeit von 450 Millisekunden wurde im Voraus berechnet. Die somit berechnete Präparationsphase der Bewegung, für die TMS Stimulationen, war je nach dem wie hoch die Probanden den Finger von der Pianotaste anhoben, unterschiedlich genau. Die Muskelaktivitäten unter den Kontrollbedingungen (Ruhe MEP) waren zwischen den Probanden sehr ähnlich. Die Muskelaktivitäten in den Bewegungsphasen (Preparation und Phasic) waren jedoch von Probanden zu Probanden sehr unterschiedlich. Die grossen Standardabweichungen der Messresultate liessen sich möglicherweise mit den unterschiedlich hohen Vorinnervationspotentialen der Muskulatur erklären. Denn die MEP-Grösse verändert sich, wie Beck et al. (2008) zeigten, in den vier Phasen einer Bewegung stark. Die MEPs wurden in Beck et al. (2008) in vier verschiedenen Phasen der Bewegung gemessen (Rest, Premotor, Phasic, Tonic). Die grösste Variabilität ergibt sich laut Beck et al. (2008) in der Premotor Phase. Die in der Studie von Beck et al. (2008) ermittelten

Resultate zeigen, dass die Kontrollgruppe (gesunde Probanden) eine Hemmung der MEP Amplitude während der Phase der Bewegungsinitizierung (Premotor) und eine Verringerung der MEP-Grösse während der Bewegungsausführungsphase (Phasic) hat. Während der Haltephase (Tonic) der Bewegung wurde jedoch eine Vergrösserung der MEP-Grösse im Bezug auf die Messung in Ruhe festgestellt.

Messbedingung Preparation

Die in der vorliegenden Studie verwendeten Begrifflichkeiten für die Bewegungsphasen, entsprechen den Begrifflichkeiten von Beck et al. (2008) folgendermassen: Preparation entspricht Premotor und Phasic entspricht Tonic. In der vorliegenden Studie wurde zu den Zeitpunkten Preparation (450ms vor Bewegungsauslösung) und Phasic (Finger drückte auf Pianotaste) getriggert. Bei der 450ms Bedingungen ergaben sich vermutlich die grösste Variabilität der standardisierten Untersuchungsbedingungen, weil die Höhe, auf welche die Finger von der Pianotastatur abgehoben werden sollen, nicht standardisiert war. Diese Variabilitäten wurden nicht gemessen. Die unterschiedlichen Arten wie die Finger von der Pianotastatur gehoben wurden und die damit zusammenhängende Verschiebung des Triggerzeitpunktes in der Bewegungsinitizierungsphase ergaben möglicherweise bei einigen Messungen eine Verschiebung der Phase von Premotor zu Phasic. Dies könnte eine relevante Erklärung sein, weshalb sich die Studienresultate nicht-signifikant unterscheiden. Denn wie oben beschrieben, stellte Beck et al. (2008) fest, dass es während der Premotor Phase eine Hemmung der MEP-Amplitude gibt, und während der Phasic eine Verringerung der MEP-Amplitude.

Messbedingung Phasic

Hingegen in der Phasic waren die MEP-Amplituden, wie bei Beck et al. (2008) beschrieben, erhöht im Bezug auf die Ruhe MEPs. Der in der vorliegenden Studie verwendete TMS-Triggerzeitpunkt Phasic (Finger drückte auf Pianotaste), stellt eine konstante Untersuchungsbedingung dar. Dieser Triggerzeitpunkt wurde mittels Goniometer, welche fest mit den Pianotatsten verbunden waren, getriggert.

In vergleichbaren Studien wie Beispielsweise von Beck et al. 2008 wurden die TMS Impulse anhand der Kraftlinie stimuliert. Dazu kommt, dass die Bewegungsaufgaben in vergleichbaren Studien, wie auch bei Kassavetis et al. 2012 und Beck et al. 2008, aus

einfacher Flexion oder Abduktion einzelner Finger oder gar nur aus einer Zeigefingerflexion bestanden. Die Bewegungsaufgaben waren folglich einfacher standardisierbar als in der vorliegenden Studie.

4.1.3 Vergleiche der Untersuchungsgruppen

Pianisten

Ein zweiter Grund liegt möglicherweise in der Wahl der Untersuchungsgruppen. Es ist allenfalls die Frage aufzuwerfen, ob das Niveau der Pianospiele aus anderen Studien, mit dem Niveau der Pianospiele (16.1 ± 5.3 Trainingsjahre), der vorliegenden Studie, vergleichbar ist. Denn in der Studie von Alvarro Pascual-Leon, « The Brain That Plays Music and Is Changed by It » (2001) arbeitete er, in allen drei Teilen der Studie, mit einer Gruppe Nicht-Pianisten. Das Ziel des ersten Teils der Studie war, den Erwerb von Fähigkeiten mit den Veränderungen im motorischen und sensorischen Cortex in Verbindung zu setzen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, über einen Zeitraum von fünf Tagen eine Fingerabfolge von allen fünf Fingern der rechten Hand am Piano zu trainieren. Mittels TMS wurden die Veränderungen der Rindenfelder der trainierten und untrainierten Hand gemessen.

A. Pascual-Leone beschreibt die plastische Veränderung in der Region der sensorischen und motorischen Rindenfelder im Hirn, wenn häufig und intensiv Musik gespielt wird. Die plastischen Veränderungen gingen auch mit einer Verringerung der Schwelle für die TMS Aktivierung des Fingerbeugers und Streckers einher. Diese Veränderung konnte nur gezeigt werden, wenn jeweils nach einer Pause von 20-30 Minuten nach dem Training gemessen wurde. Nicht aber, wenn vor dem Training gemessen wurde. Die Daten waren hochsignifikant. Im Gegensatz zur Studie von A. Pascual-Leone (2001) bestand in der vorliegenden Studie die Untersuchungsgruppe der Pianisten aus erfahrenen Musikern (16.1 ± 5.3 Trainingsjahre). Das Niveau der Untersuchungsgruppe der vorliegenden Studie ist mit dem in der Studie von A. Pascual-Leone (2001) nicht vergleichbar. Die Studie von A. Pascual-Leone (2001) hatte das Ziel plastische Veränderungen im Hirn durch Training zu zeigen. Die Untersuchungsgruppe Novizen eignete

sich dafür sehr gut.

Bei der Studie von Shin Hae-Won et al. (2012), haben sich die Autoren mit der Frage beschäftigt, wie sich die SI bei zehn professionellen Musikern und fünfzehn Nicht-Musikern (Kontrollgruppe) unterscheidet. Die Autoren stellten fest, dass sich die SI durch Training verkleinert. Hervorzuheben ist, dass in der Studie von Shin Hae-Won et al. (2012) die Untersuchungsgruppe aus professionellen Musikern bestand. Diese haben ein Durchschnittsalter von 23.3 Jahren und spielen seit dem siebten Lebensjahr mindestens zwei Stunden Piano pro Tag. Der Mittelwert der kumulierten Trainingszeit ist im Bereich von 20951 Stunden. Die Pianisten der vorliegenden Studie haben 16.1 ± 5.3 Trainingsjahre. Die kumulierte Trainingszeit liegt im Bereich von ungefähr 11700 Stunden. Somit haben die Untersuchungsgruppen der Pianisten in der Studie von Shin Hae-Won et al. (2012) und der vorliegenden Studie nur näherungsweise ein ähnliches Niveau.

Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe in der Studie von Shin Hae-Won et al. (2012) wurde nach den Kriterien ausgesucht, nie Pianounterricht bekommen zu haben und über keine Hobbies im Bereich von Instrumentenspielen zu verfügen.

Die Kontrollgruppe der vorliegenden Studie bestand im Wesentlichen aus Studenten, welche sehr häufig und gewohnt Tastaturschreiben. Ob die Probanden in der Kontrollgruppe bei der vorliegenden Studie nie ein Instrument gespielt haben ist nicht bekannt. Durch den Sachverhalt des häufigen Tastaturschreibens sind die feinmotorischen Fähigkeiten der Fingermuskulatur der Kontrollgruppe sehr wahrscheinlich erhöht. Die Pianisten und die Kontrollgruppe haben vermutlich ein zu ähnliches Niveau in Bezug auf die Fähigkeit selektive, präzise Fingerbewegungen auszuführen. Demnach könnte das regelmässige Benutzen einer Tastatur einen Einfluss auf die gemessenen Daten haben. Es ist jedoch fraglich, ob dies tatsächlich auf das Pianospielen übertragen werden kann.

Auch hier ist nur näherungsweise die Kontrollgruppe der Studie von Shin Hae-Won et al. (2012) mit der vorliegenden Studie zu vergleichen.

4.1.4 Stärken und Schwächen

Die erstmals zur Messung der SI von Pianisten und Nicht-Pianisten angewendete funktionelle Testaufgabe am Piano, ist als Stärke der Studie zu bezeichnen.

Beim Ausführen der Aufgabe waren jedoch kaum Unterschiede zwischen den Probandengruppen zu finden. Die Aufgabe war sowohl von Pianisten, als auch Nicht-Musikern gut lösbar. Die Komplexität der Aufgabe könnte vermutlich einen Einfluss auf die Ergebnisse dieser Studie gehabt haben. Über die Komplexität einer Aufgabe ist bisher von Beck S. und Hallet M. (2009) eine Untersuchung mit dem Titel „Surround inhibition is modulated by task difficulty » gemacht worden. Ihre Untersuchung zeigt, dass die SI bei Bewegungen mit der rechten Hand mit Auswahlreaktionen stärker betont war, als mit einfachen Reaktionsbewegungen. Die Ergebnisse der SI von der linken Hand für die Auswahlreaktionen, waren denen der Rechten ähnlich. Ihre Schlussfolgerung lautet «Wir schliessen daraus je höher die Aufgabenschwierigkeit ist, desto früher und stärker tritt die SI auf » (Beck S., Hallet M. 2009).

4.1.5 Schlussfolgerungen

Bei der funktionellen Testaufgabe am Piano unterscheidet sich die SI der Pianisten nicht-signifikant von der SI der Kontrollgruppe. Dies ist ein Resultat entgegen den Erwartungen. In dieser Studie führte die funktionelle Bewegungsaufgabe unter den Messbedingungen 450ms (Preparation) vermutlich zu Variabilitäten des Triggerzeitpunktes in Bezug auf die Bewegungsphase, da das Anheben der Finger zwischen den einzelnen Pianotastenberührungen von Proband zu Proband unterschiedlich hoch war.

Die Resultate der Kontrollgruppe werfen in dieser Studie die Frage auf, ob das regelmässige Benutzen einer Tastatur und die damit verbundene Erhöhung der Fingerkoordination, einen Einfluss auf die gemessenen Daten haben könnten. Es ist jedoch fraglich ob dieser Sachverhalt tatsächlich auf das Pianospielen übertragen werden kann. Da diese Variabilitäten nicht gemessen wurden, bleiben deren Effekte unklar.

Zur gewählten Komplexität der funktionellen Aufgabe am Piano gibt es keine vergleichbare Studie. Die von Beck S. und Hallet M. (2009) publizierte Studie zeigt die Ergebnisse der SI von Auswahlreaktionsbewegungen und Reaktionsbewegungen. Es ist

fraglich, ob die Schlussfolgerung, je höher die Aufgabenschwierigkeit ist, desto früher und stärker die SI auftritt, auf die funktionelle Aufgabe der vorliegenden Studie übertragen werden kann.

In einer weiterführenden Studie mit derselben Fragestellung müsste die Untersuchungsbedingungen noch besser standardisiert werden. Dies würde mit einer TMS Triggerung der 450ms Bedingung (Preparation) mittels einer Kraftlinie gelingen.

Zudem müssten bei der Auswahl der Kontrollgruppe die beiden Kriterien, keine Erfahrungen im Musizieren und keine Erfahrungen im Tastaturschreiben, beachtet werden.

Um den Ergebnissen aus der Studie von Beck S. und Hallet M. (2009) Rechnung zu tragen, könnte die Komplexität der funktionellen Aufgabe auf ein höheres Niveau angehoben werden.

Quelle der Abbildungen

1. Gehirn, (Quelle:
http://www.ftvs.cuni.cz/eknihy/jazyky/einfuhrungindiesportsprache/Texts/5-Korper_II.html, Zugriff am 19.7.2013)
2. Verschaltung der Basalganglien,
(Quelle :http://www.gehirnlernen.de/s/cc_images/cache_2420751126.png?t=1321630054, Zugriff am 22.7.2013)
3. Basalganglien: Schema zur großen Schleife Hirnrinde; (Quelle : Medizin, 4 Aufl. Urban & Fischer, 1999 Roche Lexikon)
4. Hirnareale, (Quelle:<http://www.acbrown.com/neuro/Lectures/Motr/NrMotrPrmt.htm> Zugriff am 22.7.2013)
5. Sensomotorik, limbisches System und die Basalganglien (Quelle: Altenmüller E. (2003), Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians, Hand Clin 19, 523-538, S. 535)
6. Resultate der einwöchigen Praxis der fünf-Finger-Übung auf dem Piano (Quelle: Pascual-Leone A. (2001) The Brain that Plays Music and is Changed by It., S. 318)
7. Grösse der Rindenfelder des Flexors des Zeigefingers der trainierten Hand bei einem repräsentativen Probanden. (Quelle: Pascual-Leone A. (2001) The Brain that Plays Music and is Changed by It., S. 322)
8. Resultate der Studie von C.-J.Olsson et al. (2008). (Quelle: Olsson C.-J., Jonsson B., Nyberg L. (2008). Learning by doing and learning by thinking: an fMRI study of combining motor and mental training. Frontiers in Human Neuroscience, 2, Artikel 5, S. 4)
9. Resultate nach sechs Wochen Training. (Quelle: Olsson C.-J., Jonsson B., Nyberg L. (2008). Learning by doing and learning by thinking: an fMRI study of combining motor and mental training. Frontiers in Human Neuroscience, 2, Artikel 5, S. 5)
10. Erhöhte Aktivierung im Cerebellum, (Quelle: Olsson C.-J., Jonsson B., Nyberg L. (2008). Learning by doing and learning by thinking: an fMRI study of combining motor and mental training. Frontiers in Human Neuroscience, 2, Artikel 5, S. 6)
11. Mittlere MEP Amplitude des ADM bei der VIB onset Messung. (Quelle: Exp Brain Res (2012) 222:211–217 Kassavetis, 2012)
12. Mittlere MEP Amplitude des ADM bei der VIB 100 Messung. (Quelle: Exp Brain Res (2012) 222:211–217 Kassavetis, 2012)
13. Mittlere MEP Amplitude im ADM bei VIB onset (Timed Vibration) und VIB 100 (Delayed Vibration). Gemessen zu drei Zeitpunkten: vor Vibration, nach den ersten

- 10 Versuchen und nach den letzten 10 Versuchen. (Quelle: Exp Brain Res (2012) 222:211–217 Kassavetis, 2012)
14. Versuchsanordnung S.Y. Kang 2012. (Quelle: S.Y. Kang et al. / Clinical Neurophysiology 123 (2012) 2227–2231)
15. Resultate Studie von Kang, Berechnete SI vor und nach Einzel-und Dual-Finger – Übungen. (Quelle: S.Y. Kang et al. / Clinical Neurophysiology 123 (2012) 2227–2231)
16. Normalisierte MEP Amplitude des ADM. (Quelle : Shin Hae-Won et al. (2012) S.406)
17. Kummulierte Praxisstunden (Quelle: Shin Hae-Won, Kang Suk Y., Hallett M., Sohn Young H. (2012) Reduced SI in musicians, Exp Brain Res (2012) 219:403–408, S. 406).
18. Resultate Studie von Sugawara K. et al. (2012). (Quelle NeuroReport 2012, Vol 23 No 11, S. 666)
19. Fokale Dystonie beim Pianisten. (Quelle: Bangert M. und Altenmüller E., Hannover, Funktionelle und dysfunktionelle Plastizität bei Musikern, Musikphysiologie und Musikermedizin 2003, 10. Jg., Nr. 3 S. 142)
20. Prädisposition einer Musikerdystonie. (Quelle: Modifiziert nach Altenmüller und Jabusch 2009, 152 (Weidenmüller M. 2010, S. 8) Kathodale transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) bei Gitarristen mit fokaler Dystonie, Doktorarbeit)
21. Versuchsanordnung von Beck et al. (2008). (Quelle: J. Neurosci., October 8, (2008), 28(41):10363–10369 • 10365)
22. Resultate von Beck et al. (2008). (Quelle: J. Neurosci., October 8, (2008)• 28(41):10363–10369 • 10365)
23. fMRI Daten eines Probanden. (Quelle: Pascual-Leone A. (2001) The Brain that Plays Music and is Changed by It., S. 325)
24. Versuchsanordnung Schema
25. Versuchsanordnung
26. Nahaufnahme Goniometer
27. Darstellung und Untersuchung von Magnetisch Evozierten Potentialen (MEPs) (Quelle:<http://www.lunea.ch/multiple-sklerose/wie-ms-diagnostiziert-wird/diagnose/evozierte-potenziale/> Zugriff am 12.3.13)
28. Reaktion Stimulus-Kontraktion. (Quelle: [http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-und-Poliklinik-fuer-Psychiatrie-und Psychotherapie/bilder/inhalt/forschung/eegekg/ep.gif](http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-und-Poliklinik-fuer-Psychiatrie-und-Psychotherapie/bilder/inhalt/forschung/eegekg/ep.gif), Zugriff am 12.3.13)
29. Messung der SI (% control MEP) in FDI und ADM bei Triggerung auf APB in Präpara-

tionsphase der Bewegung.

30. Messung der SI (% control MEP) in FDI und ADM bei Triggerung auf APB in phasischer Phase der Bewegung.
31. Messung der SI (% control MEP) in FDI und APB bei Triggerung auf ADM in Präparationsphase der Bewegung.
32. Messung der SI (% control MEP) in FDI und APB bei Triggerung auf ADM in phasischer Phase der Bewegung
33. Messung der SI (% control MEP) in APB und ADM bei Triggerung auf FDI in Präparationsphase der Bewegung.
34. Messung der SI (% control MEP) in APB und ADM bei Triggerung auf FDI in phasischer Phase der Bewegung.
35. FDI Surround Inhibition (% control MEP) bei Two Finger Condition
36. APB Surround Inhibition (% control MEP) bei Two Finger Condition
37. ADM SI (% control MEP) bei Two Finger Condition

Literaturverzeichnis

Alexander GE. Crutcher MD. (1990), functional architecture of basal ganglia circuits, neural substrates of parallel processing. *Trends Neurosci* 13 , 266-271

Altenmüller E. (2008), Es ist nie zu spät: Zu den neuronalen Auswirkungen musikalischen Lernens im Erwachsenenalter. *Musikforum*, 1, 3-5

Altenmüller E. (2003), Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians. *Hand Clin* 19, 523-538

Altenmüller E., Jabusch HC. (2009), Focal hand dystonia in musicians: phenomenology, etiology, and psychological trigger factors. *J Hand Ther* 22 , 144-54

Beck S., Hallet M. (2009), Surround inhibition is modulated by task difficulty, *Clinical Neurophysiology* 121 (2010) 98–103

Beck S., Hallet M. (2011) Surround inhibition in the motor system. *Exp Brain Res* (2011) 210:165-172

Brandfonbrener AG, Robson C. (2002), A review of 111 musicians with focal dystonia seen at a performing artist's clinic 1985-2002. *Mov Disord* 17 , 1135

Hallett M., Transcranial Magnetic Stimulation, A Primer (2007), *Neuron* 55, July 19, 2007 a2007 Elsevier Inc. S. 187-196

Jabusch HC., Altenmüller E., Epidemiology, phenomenology and therapy of musician's cramp. In: Altenmüller E, Wiesendanger M, Kesselring J (Autoren) "Music, Motor Control, and the Brain," *Oxford University Press*, Oxford 2006, 265-282

Kang S.Y., Hallet M., Sohn Young H. (2012), Synchronized finger exercise reduces surround inhibition, *Clinical Neurophysiology* 123 (2012) 2227–2231

Kassavetis P., Saifee T. A., Sadnicka A., Pareés I., Kojovic M., Rothwell J. C., Edwards M. J. (2012), Adaptation of surround inhibition in the human motor system, *Experimental Brain Research, Volume 222, Issue 3*, pp 211-217

Konrad P., (2005), EMG-Fibel. – Eine praktische Einführung in die kinesiologische Elektromyographie, Version 1, Noraxon INC. USA.

Lederman R.J. (1991), Focal dystonia in instrumentalists: clinical features. *Med Probl Perform Art* 6, 132-136

Mink J.W. (1996), the basal ganglia: focused selection and inhibition of competing motor programs. *Prog Neurobiol* 50, 381-425

Olsson C.-J., Jonsson B., Nyberg L. (2008). Learning by doing and learning by thinking : an fMRI study of combining motor and mental training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2, Atrikel 5

Pascual-Leone A. (2001) The Brain that Plays Music and is Changed by It. In, Zatorre R. und Peretz I. Music and the Brain. *New York Academy of Sciences* .

Schmidte A., Jabusch H.-C., Altenmüller E., Möller J., Grünewald A., Göbel A., Kasten M., Klein C., (2012), Ist intensives Üben Ursache der fokalen Dystonie bei Musikern? 85. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie mit Fortbildungsakademie, Zugriff am 18.8.2013 <http://www.dgnekongress.org/2012/posterpreistraeger/posterpreistraeger-freitag/posterpreistraeger-p704.html>

Shin Hae-Won, Kang Suk Y., Hallett M., Sohn Young H. (2012) Reduced surround inhibition in musicians, *Exp Brain Res* (2012) 219:403–408 DOI 10.1007/s00221-012-3102-z

Sugawaraa K., Tanabeb S. , Higashic T., Suzukia T., Tsurumia T. und Kasaid T., (2012) Functional plasticity of surround inhibition in the motor cortex during single finger contraction training, *NeuroReport* 2012, 23:663–667

Trepel M. (2004), Neuroanatomie: Struktur und Funktion. 3. Auflage; Elsevier GmbH, München

Weidenmüller M., 2010, Kathodale transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) bei Gitarristen mit fokaler Dystonie, Doktorarbeit

Persönliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Biel, 31. August 2013

Unterschrift:

Urheberrechtserklärung

Die Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Sie überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.

Die Universität darf dieses Recht nur im Einverständnis der Unterzeichnenden auf Dritte übertragen.

Finanzielle Ansprüche der Unterzeichnenden entstehen aus dieser Regelung keine.

Biel, 31. August 2013

Unterschrift:

5 Anhang

Verwendete Abkürzungen

ANOVA Varianzanalyse (Analysis of Variance)

EEG Elektroenzephalogramm

EMG Elektromyographie

FD fokale Dystonie

FHD fokale Hand Dystonie

GABA Gamma-Amino-Buttersäure

Komp kompensatorisch

M1 primär motorischer Kortex

mA Milliampere

MEP motorisch evoziertes Potential

Min Minuten

MRI Magnetresonanztomographie

P Signifikanzniveau (probability)

TMS transkranielle Magnetstimulation

SD Standardabweichung (standard deviation)

Sek Sekunden

SI Surround Inhibition

SICI short-latency intracortical inhibition

SMA Supplementär-motorische Rinde

TMS transkranielle Magnetstimulation

ZNS zentrales Nervensystem

Auswertung «single finger condition»

Tests der Innersubjekteffekte						
Maß: MASS_1						
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
muskel	Sphärizität angenommen	7162.326	2	3581.163	2.165	.126
	Greenhouse-Geisser	7162.326	1.962	3651.279	2.165	.127
	Huynh-Feldt	7162.326	2.000	3581.163	2.165	.126
	Untergrenze	7162.326	1.000	7162.326	2.165	.155
muskel * group	Sphärizität angenommen	7756.205	2	3878.103	2.344	.107
	Greenhouse-Geisser	7756.205	1.962	3954.032	2.344	.108
	Huynh-Feldt	7756.205	2.000	3878.103	2.344	.107
	Untergrenze	7756.205	1.000	7756.205	2.344	.139
Fehler(muskel)	Sphärizität angenommen	76103.897	46	1654.433		
	Greenhouse-Geisser	76103.897	45.117	1686.825		
	Huynh-Feldt	76103.897	46.000	1654.433		
	Untergrenze	76103.897	23.000	3308.865		
Bedingung	Sphärizität angenommen	9756.597	2	4878.299	3.709	.032
	Greenhouse-Geisser	9756.597	1.970	4951.494	3.709	.033
	Huynh-Feldt	9756.597	2.000	4878.299	3.709	.032
	Untergrenze	9756.597	1.000	9756.597	3.709	.067
Bedingung * group	Sphärizität angenommen	2464.015	2	1232.007	.937	.399
	Greenhouse-Geisser	2464.015	1.970	1250.493	.937	.398
	Huynh-Feldt	2464.015	2.000	1232.007	.937	.399
	Untergrenze	2464.015	1.000	2464.015	.937	.343
Fehler(Bedingung)	Sphärizität angenommen	60498.473	46	1315.184		
	Greenhouse-Geisser	60498.473	45.320	1334.918		
	Huynh-Feldt	60498.473	46.000	1315.184		
	Untergrenze	60498.473	23.000	2630.368		
muskel * Bedingung	Sphärizität angenommen	104222.349	4	26055.587	39.465	.000
	Greenhouse-Geisser	104222.349	2.980	34979.205	39.465	.000
	Huynh-Feldt	104222.349	3.621	28784.839	39.465	.000
	Untergrenze	104222.349	1.000	104222.349	39.465	.000
muskel * Bedingung * group	Sphärizität angenommen	599.615	4	149.904	.227	.923
	Greenhouse-Geisser	599.615	2.980	201.243	.227	.876
	Huynh-Feldt	599.615	3.621	165.606	.227	.908
	Untergrenze	599.615	1.000	599.615	.227	.638
Fehler (muskel*Bedingung)	Sphärizität angenommen	60740.653	92	660.224		
	Greenhouse-Geisser	60740.653	68.530	886.341		
	Huynh-Feldt	60740.653	83.277	729.381		
	Untergrenze	60740.653	23.000	2640.898		

Auswertung EMG «single finger condition»

Tests der Innersubjekteffekte						
Maß: MASS_1						
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
muscle	Sphärizität angenommen	.805	2	.402	19.898	.000
	Greenhouse-Geisser	.805	1.911	.421	19.898	.000
	Huynh-Feldt	.805	2.000	.402	19.898	.000
	Untergrenze	.805	1.000	.805	19.898	.000
muscle * group	Sphärizität angenommen	.041	2	.020	1.002	.375
	Greenhouse-Geisser	.041	1.911	.021	1.002	.372
	Huynh-Feldt	.041	2.000	.020	1.002	.375
	Untergrenze	.041	1.000	.041	1.002	.327
Fehler(muscle)	Sphärizität angenommen	.930	46	.020		
	Greenhouse-Geisser	.930	43.957	.021		
	Huynh-Feldt	.930	46.000	.020		
	Untergrenze	.930	23.000	.040		
active_muscle	Sphärizität angenommen	.410	2	.205	16.410	.000
	Greenhouse-Geisser	.410	1.896	.216	16.410	.000
	Huynh-Feldt	.410	2.000	.205	16.410	.000
	Untergrenze	.410	1.000	.410	16.410	.000
active_muscle * group	Sphärizität angenommen	.015	2	.007	.599	.553
	Greenhouse-Geisser	.015	1.896	.008	.599	.545
	Huynh-Feldt	.015	2.000	.007	.599	.553
	Untergrenze	.015	1.000	.015	.599	.447
Fehler(active_muscle)	Sphärizität angenommen	.575	46	.012		
	Greenhouse-Geisser	.575	43.613	.013		
	Huynh-Feldt	.575	46.000	.012		
	Untergrenze	.575	23.000	.025		
muscle * active_muscle	Sphärizität angenommen	2.333	4	.583	25.450	.000
	Greenhouse-Geisser	2.333	1.464	1.594	25.450	.000
	Huynh-Feldt	2.333	1.607	1.452	25.450	.000
	Untergrenze	2.333	1.000	2.333	25.450	.000
muscle * active_muscle * group	Sphärizität angenommen	.015	4	.004	.163	.957
	Greenhouse-Geisser	.015	1.464	.010	.163	.783
	Huynh-Feldt	.015	1.607	.009	.163	.804
	Untergrenze	.015	1.000	.015	.163	.690
Fehler (muscle*active_muscle)	Sphärizität angenommen	2.108	92	.023		
	Greenhouse-Geisser	2.108	33.673	.063		
	Huynh-Feldt	2.108	36.953	.057		
	Untergrenze	2.108	23.000	.092		

Auswertung «two finger condition»

Tests der Innersubjekteffekte						
Maß: MASS_1						
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
aktiverMuskel	Sphärizität angenommen	21418.419	2	10709.210	2.351	.107
	Greenhouse-Geisser	21418.419	1.780	12031.423	2.351	.113
	Huynh-Feldt	21418.419	2.000	10709.210	2.351	.107
	Untergrenze	21418.419	1.000	21418.419	2.351	.139
aktiverMuskel * group	Sphärizität angenommen	9102.827	2	4551.414	.999	.376
	Greenhouse-Geisser	9102.827	1.780	5113.354	.999	.369
	Huynh-Feldt	9102.827	2.000	4551.414	.999	.376
	Untergrenze	9102.827	1.000	9102.827	.999	.328
Fehler(aktiverMuskel)	Sphärizität angenommen	209526.961	46	4554.934		
	Greenhouse-Geisser	209526.961	40.945	5117.309		
	Huynh-Feldt	209526.961	46.000	4554.934		
	Untergrenze	209526.961	23.000	9109.868		
Bedingung	Sphärizität angenommen	7944.177	3	2648.059	5.360	.002
	Greenhouse-Geisser	7944.177	2.680	2964.684	5.360	.003
	Huynh-Feldt	7944.177	3.000	2648.059	5.360	.002
	Untergrenze	7944.177	1.000	7944.177	5.360	.030
Bedingung * group	Sphärizität angenommen	806.014	3	268.671	.544	.654
	Greenhouse-Geisser	806.014	2.680	300.796	.544	.634
	Huynh-Feldt	806.014	3.000	268.671	.544	.654
	Untergrenze	806.014	1.000	806.014	.544	.468
Fehler(Bedingung)	Sphärizität angenommen	34086.049	69	494.001		
	Greenhouse-Geisser	34086.049	61.631	553.068		
	Huynh-Feldt	34086.049	69.000	494.001		
	Untergrenze	34086.049	23.000	1482.002		
aktiverMuskel * Bedingung	Sphärizität angenommen	14273.168	6	2378.861	3.704	.002
	Greenhouse-Geisser	14273.168	4.164	3428.018	3.704	.007
	Huynh-Feldt	14273.168	5.420	2633.448	3.704	.003
	Untergrenze	14273.168	1.000	14273.168	3.704	.067
aktiverMuskel * Bedingung * group	Sphärizität angenommen	3504.096	6	584.016	.909	.490
	Greenhouse-Geisser	3504.096	4.164	841.586	.909	.465
	Huynh-Feldt	3504.096	5.420	646.518	.909	.483
	Untergrenze	3504.096	1.000	3504.096	.909	.350
Fehler(aktiverMuskel*Bedingung)	Sphärizität angenommen	88634.731	138	642.281		
	Greenhouse-Geisser	88634.731	95.765	925.548		
	Huynh-Feldt	88634.731	124.659	711.018		
	Untergrenze	88634.731	23.000	3853.684		

Testprotokoll

FILE NAME :			
First Name :		Last Name :	
Date of birth :		Height and Weight :	
Handerness :			
	Programm Files	Stimuli	Notes
MT			
	_ SI _ 02	controle _passive	MT=____ 140%=_____
SINGLE FINGER			
Active protocol			
+controls	_ SI _ 03	active_FDI/APB/ADM Tr 30 FDI Tr 32 APB Tr 34 ADM	EMG latencies
	Long latency (450ms)	Tr 36 FDI Tr 45 APB Tr 55 ADM	
TWO FINGERS	_ SI _ 04		
		Active FDI-APB (30)	
		FDI-ADM (40)	
		Active APB-FDI (32)	
		APB-ADM (42)	
		Active ADM-FDI (34)	
		ADM-APB (44)	
THREE FINGERS	_ SI _ 05		
		Active three fingers (Trigger 30 etc.)	Going up
		Delay (450ms) Trigger 40	

Danksagung

Danke sagen möchte ich Herrn Prof. Dr. Wolfgang Taube, Direktor des Institutes für Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Fribourg, für seine Ideengebung für dieses Thema und den Entwurf der Studie. Seine überaus kompetente und freundliche Art war mir immer ein Vorbild und Motivation.

Besonders Danken möchte ich auch Herrn Martin Keller Diplomassistent / Doktorkandidat des Institutes für Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Fribourg für seine Betreuung und sein Wissen, sowie seine geduldigen Erklärungen und zügigen Korrekturen meiner Masterarbeit.