

Aus der Neurologischen Klinik der Universitätsklinik Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. H.-P. Hartung

**Altersabhängigkeit motorischen Lernens
bei gesunden Kindern und Jugendlichen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf

vorgelegt von

Oliver Keull

2006

„Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf“

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Bernd Nürnberg
Dekan

Referentin : Prof. Dr. med. Gabriele Arendt
Korreferent: Priv. Doz. Dr. med. Tim Niehues

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt den 51 Kindern und Jugendlichen, die diese Arbeit erst ermöglicht haben. Ihre stete Begeisterungsfähigkeit und geduldige Mitarbeit bei den Tests waren großartig. Daher ein riesiges Dankeschön an die Kinder und Jugendlichen der Pfadfinder und der katholischen Kirchengemeinde in Solingen Gräfrath.

Ebenso möchte ich Frau Prof. Dr. med. Gabriele Arendt für die Begleitung während dieser Arbeit danken. Bei Fragen konnte ich stets auf ein offenes Ohr vertrauen und Hilfestellungen wurden jederzeit gewährleistet.

Schließlich gilt mein Dank auch ganz besonders meinen Eltern, die mir ein Studium der Humanmedizin und somit diese Erfahrung erst ermöglicht haben. Außerdem stellten sie mir jedes Mal bereitwillig ein Auto zur Verfügung, wenn es wieder mit vier Kindern zum „Messen“ in die Neurologie nach Düsseldorf ging.

Vielen Dank

Inhaltsverzeichnis

I Einführung	7
1 Entwicklung neurophysiologischer Parameter	7
2 Entwicklung des Nervensystems bis zum Erwachsenenalter	9
2.1 Pyramidenbahn	9
2.2 somato –sensible System	11
2.3 neurophysiologische Voraussetzungen für die Entwicklung spezieller motorischer Fähigkeiten	11
2.4 Entwicklung motorischer Fähigkeiten im Schulkindalter	12
3 Motorisches Lernen	12
3.1 Plastizität des Gehirns	12
3.2 Motorisches Lernen auf zellulärer Ebene	14
3.3 Das motorische Gedächtnis	15
3.4 Basalganglien – Einfluss auf die Motorik	16
4 Motorikmessung zur Frühdiagnose von Stammganglienerkrankungen bei Erwachsenen	17
II Fragestellung	18

III Untersuchungsmethoden	19
1) Erhebungskollektiv	19
2) Datenerhebung	20
a) Schnellstmögliche Zeigefingerextension	21
b) Tremor	22
c) Schnellstmögliche alternierende Zeigefingerbewegungen	23
d) Grooved Pegboard Test	24
3) Statistische Auswertung	25
IV Ergebnisse	26
1) Durchführbarkeit	26
2) Altersabhängigkeit der motorischen Testreihe bei 51 gesunden Kindern und Jugendlichen	26
3) Vergleich verschiedener Untergruppen der 51 Kinder und Jugendlichen bezüglich der motorischen Parametern	29
4) Vergleich der untersuchten Gruppe von 51 Kinder und Jugendlichen Mit gesunden Erwachsenen	32
5) Vergleich der unterschiedlichen Altersgruppen unter den Kindern und Jugendlichen mit bekannten Messwerten von Erwachsenen	34
6) Vergleich der angewandten motorischen Testbatterie mit einem Geschicklichkeitstest der Finger und Handmotorik	36
7) Altersabhängigkeit beim Grooved Pegboard Test in Bezug auf die 51 untersuchten Kinder und Jugendlichen	39
V Diskussion	41
1) Durchführbarkeit	42
2) Altersabhängigkeit	42
3) Beurteilung des Vergleichs innerhalb des Kollektivs der 51 Kinder und Jugendlichen	43
a) motorische Parameter	43
b) Grooved Pegboard Test	44

VI Zusammenfassung	45
VII Literaturverzeichnis	46
VIII Lebenslauf	50

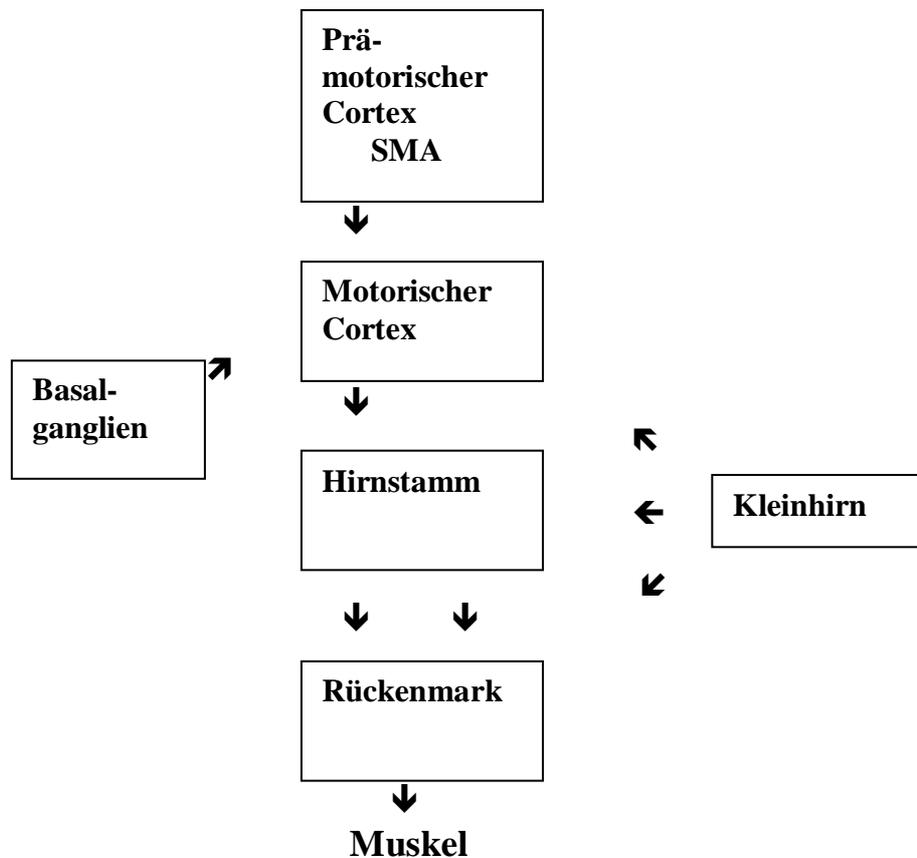
Einführung

1.1 Entwicklung neurophysiologischer Parameter der Motorik

Die motorische Entwicklung des Menschen gründet auf dem Ausreifungsprozess des zentralen Nervensystems, der sich mit der Myelinisierung der Nervenfasern bis ins hohe Alter hinziehen kann (Noth, J. 1994).

Das motorische System des Menschen ist in hierarchischer Weise organisiert.

Nach neuroanatomischen und funktionellen Gesichtspunkten lassen sich vier große Systeme unterscheiden:



(Noth, J. 1994)

Diese hierarchische Ordnung des motorischen Systems spiegelt sich auch in der Entwicklung des Menschen wider. Die Funktionen des Rückenmarks und des Hirnstamms sind als erste entwickelt. Die Muskeleigenreflexe, die Fluchreflexe und die für das Leben außerhalb des Mutterleibes notwendigen Hirnstammreflexe (Saug- und Schluckreflex) sind bereits beim Neugeborenen vorhanden.

Der Schreitreflex des Säuglings, der nur in den ersten Wochen nach der Geburt auslösbar ist, spricht für die frühe Entwicklung spinaler Lokomotionszentren.

Die vestibulo-spinalen Bahnen sind jedoch noch nicht funktionsfähig, da die für das Gehen wichtige Haltungskontrolle im Säuglingsalter fehlt. Dennoch sind einige descendierende motorische Bahnen zu den Vorderhornzellen des Rückenmarks schon ausgereift, da die Stellreflexe von Nacken auf die Skelettmuskulatur unmittelbar postnatal nachweisbar sind.

Die Entwicklung der menschlichen Großhirnrinde und damit auch des motorischen Kortex erfolgt nach einem exakten zeitlichen Muster von der Proliferation der Neurone (Neurogenese) über die Neuronenmigration bis hin zum Wachstum der Axone und der Etablierung synaptischer Verbindungen (Noth, J. 1994).

Bei der Geburt ist der motorische Kortex des Menschen morphologisch weitgehend ausgereift, alle Schichten sind nachweisbar, und auch der kortiko-spinale Trakt ist angelegt. Dennoch ist eine funktionelle Beteiligung des motorischen Kortex an der Motorik des Säuglings nicht nachweisbar, was dadurch belegt wird, dass der Säugling noch keine unabhängige Fingerkontrolle besitzt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Kontrolle der Hand auf den Faustschluss beschränkt, der bei den nicht-menschlichen Primaten nicht auf die Intaktheit der Pyramidenbahn angewiesen ist (Lawrence/Kuypers 1968).

2.) Die Entwicklung des Nervensystems bis zum Erwachsenenalter

2.1 Pyramidenbahn

Die Pyramidenbahn setzt sich aus Axonen zusammen, die Zellen der motorischen Kortexareale entstammen und synaptischen Kontakt mit Interneuronen und Motoneuronen des Rückenmarks aufnehmen. Beim Menschen gibt es etwa eine Million Pyramidenbahnfasern, was die Bedeutung dieser wichtigen Bahnen für die Motorik des Menschen unterstreicht.

Läsionen der Pyramidenbahn führen zu Lähmungen und Koordinationsstörungen vorwiegend der distalen Extremitätenmuskulatur, aber auch die Präzision proximaler Extremitätenbewegungen ist beeinträchtigt.

Die Pyramidenbahnfasern des Feten, die von den kortiko-spinalen Neuronen des sensorischen Kortex ausgehen, erreichen schon in der 20. Schwangerschaftswoche das lumbale Rückenmark.

Die funktionelle Ausreifung hängt jedoch nicht nur von der axonalen Verbindung zwischen Kortex und Rückenmark ab, sondern sie ist auf die Myelinisierung, die Entwicklung der Markscheiden, angewiesen, die für die schnelle Weiterleitung der Aktionspotentiale verantwortlich ist.

Mit Hilfe der schmerzlosen und ungefährlichen transkortikalen Magnetstimulation hat Müller et al. (1991) die funktionelle Reifung der Pyramidenbahn im Kindesalter beschrieben. Diese Untersuchungen wurden bis zum 13. Lebensjahr durchgeführt. Die Geschwindigkeit der Pyramidenbahnleitung zeigt einen exponentiellen Verlauf. Bis zum Alter von 13 Jahren werden fast die Werte des Erwachsenen erreicht.

2.2 Somato-sensibles System

Die Bedeutung des somato-sensiblen Systems zeigt sich darin, dass in einem gemischten peripheren Nerven weit mehr Afferenzen als Efferenzen enthalten sind.

Die Entwicklung des somato-sensiblen Systems lässt sich ebenfalls mit neurophysiologischen Methoden analysieren.

Die periphere afferente Leitungsgeschwindigkeit erreicht schon im Alter von zwei Jahren die Werte des Erwachsenenalters, so dass die langsame Ausreifung des afferenten Systems auf die allmähliche Zunahme der Leitungsgeschwindigkeit im ZNS (Hinterstrangbahnen) zurückzuführen ist. Sie steigt von 10 m/sec. beim reifen Neugeborenen auf Werte um 50 m/sec beim Erwachsenen an (Desmedt et al.1976).

2.3 Neurophysiologische Voraussetzungen für die Entwicklung spezieller motorischer Fähigkeiten

In der Phylogenese haben sich die motorischen Leistungen der verschiedenen Spezies ganz unterschiedlich entwickelt. Aufrechter Gang, Sprechmotorik und Feinmotorik der Hände sind Leistungen, die beim Menschen einen hohen Grad an Perfektion erreicht haben, während die Geschwindigkeit der Fortbewegung, die Sprungkraft und die Fähigkeit, zu klettern weiter unter dem Niveau vieler Säugetiere liegen. In der Ontogenese des Menschen wird das endgültige Niveau einer motorischen Leistung umso später erreicht, je komplexer die motorische Aufgabe ist.

Zu den motorischen Fähigkeiten, die sich relativ spät entwickeln, gehört die feinmotorische Kontrolle der Hand. Sie erfordert ein präzises Zusammenspiel vieler Muskelgruppen, was durch die Ausreifung der Pyramidenbahn ermöglicht wird, sowie die funktionelle Integration des prämotorischen, parieto-okzipitalen Kortex und des Kleinhirns in das motorische Programm (Freund 1987).

Die Entstehung synaptischer Verbindungen im Kortex ist eine wichtige und entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung höherer motorischer Funktionen.

Die Proliferation der Neurone, ihre Migration zum Bestimmungsort, das Auswachsen ihrer Axone bis zum Zielneuron und schließlich die Bildung von Synapsen, sind Vorgänge, die im genetischen Bauplan festgelegt sind und an denen Gliazellen als „Leitschienen“ sowie trophische Substanzen beteiligt sind.

Das endgültige Muster der funktionellen synaptischen Kontakte, von denen im Laufe der Ontogenese viele wieder verloren gehen, ist abhängig vom Gebrauch dieser synaptischen Kontakte, sei es durch selbst ausgelöste Bewegungen wie auch durch Umwelteinflüsse (Übersicht in Rakic/Singer 1988).

Die Motorik des Kindes durchläuft somit eine Entwicklung, die der Entwicklung des ZNS entspricht. Schematisch lassen sich vier Phasen unterscheiden:

- I.) Reflexbewegungen ohne Einfluss des Kortex (subkortikale Bewegungen)
- II.) Symmetrische Bewegungen mit beginnendem Einfluss des Kortex; z.B. werden beide Arme gleichzeitig nach dem „Greifmuster“ nach vorn geführt.
- III.) Gewollte, motivierte Bewegungen mit Hilfe des Kortex
- IV.) Automatisierte Bewegungen. Ständig wiederholte Bewegungen, z.B. Radfahren. Diese Bewegungen werden allmählich automatisiert, so dass das Individuum den Kortex nicht gebrauchen muss, um über die Bewegung nachzudenken.

2.4 Entwicklung motorischer Fähigkeiten im Schulkindalter

Koordinative Fähigkeiten verbessern sich in dieser Altersklasse deutlich (Baacke 1979; Baur 1989).

Der Lebensabschnitt der mittleren Kindheit wird bevorzugt in das frühe (7.-10.Lbj.) und späte (10.-12.Lbj.) Schulkindalter eingeteilt (Winter 1994).

Etwa bis zum 8. Lebensjahr erwerben Kinder die Fähigkeit, sich auf bestimmte Bewegungsaufgaben zu konzentrieren; ein zielgerichtetes, situationsgerechtes Bewegungsverhalten und die wachsende Leistungsbereitschaft bilden eine gute Grundlage für den Erwerb von motorischen Fertigkeiten.

Etwa ab dem 9. bis 10. Lebensjahr ist ein gewisser Höhepunkt in der motorischen Entwicklung erreicht. Man spricht vom „motorischen Lernalter“ (Gabler/Röthig 1980), da Kinder in der Lage sind, neue Bewegungsabläufe schnell aufzunehmen und zu erlernen.

3. Motorisches Lernen

3.1 Plastizität des Gehirns

Anatomisch zeigen sich die Veränderungen durch den Lernprozess in Veränderungen der Synapsen, Aussprossungen von Dendriten und in den synaptischen Verbindungen, die zum Teil neu entstehen oder funktionell verstärkt oder abgeschwächt werden.

Unter dem Begriff „Plastizität“ des Gehirns werden diese Umbauprozesse zusammengefasst.

Es ist damit der Beweis erbracht worden, dass es sich beim Gehirn nicht um ein feststehendes Gefüge handelt, sondern um ein Organ, das sich in seiner Funktion den äußeren Einflüssen anpassen kann.

Ein Kind kommt zwar mit einem anatomisch nahezu kompletten Nervensystem auf die Welt, aber die Verbindungen der Neuronen untereinander sind noch sehr gering. Mit der Verarbeitung sensorischer Reize bilden sich viele Synapsen aus.

In einer tierexperimentellen Studie konnten im primären motorischen Kortex Neurone identifiziert werden, deren Entladungsverhalten sich beim Erlernen der entsprechenden Bewegung veränderte (Gandolfo et al., 2000).

Dies zeigt, dass sich die funktionellen Eigenschaften dieser Neurone geändert haben, man spricht von funktioneller Plastizität.

Neurowissenschaftliche Untersuchungen haben in den letzten Jahren zahlreiche Belege dafür erbracht, dass unser Gehirn zeitlebens plastisch und damit lernfähig ist.

Die Plastizität des Gehirns ist im Kindesalter sicher um einiges höher als im Erwachsenenalter. Früher ging man davon aus, dass sich die Fähigkeit zu lernen nur etwa bis zum 20. Lebensjahr erhält. Heute weiß man, dass sich Lernen nicht nur auf die Neubildung und den Umbau innerhalb des Nervensystems bezieht, sondern die Vernetzung der Neuronen das eigentliche Lernpotenzial darstellt.

Die Fähigkeit zur Ausbildung neuer Nervenverbindungen bleibt dem Menschen Zeit seines Lebens erhalten.

Natürlich ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Plastizität des Gehirns entwickelt, im Kindesalter unübertroffen hoch. Aber noch im Erwachsenenalter sind strukturelle Veränderungen möglich.

Die funktionelle Bildgebung hat gezeigt, dass motorische Fertigkeiten nicht durch eine einzige Hirnstruktur vermittelt werden und dass die Hirnaktivitäten während des Lernfortschritts spezifisch moduliert werden.

Die Grundeinheit für motorische Leistungen sind der kontralaterale motorische Kortex, die supplementär motorische Area, die Basalganglien und das ipsilaterale Kleinhirn (Seitz, 2001).

3.2 Motorisches Lernen auf zellulärer Ebene

Die zur Zeit gängige Vorstellung, nach der Lernen beim Menschen erklärt wird, beruht auf dem Prinzip der Langzeitpotenzierung (LTP, „long-term potentiation“).

Diese ist die „Kupplerin“ beim Knüpfen neuronaler Netze (Miltner/Weiss, 2001).

Die LTP findet an den Synapsen statt, die ihre Erregung mittels des Neurotransmitters Glutamat übertragen. Dabei existieren mehrere Typen von postsynaptischen Rezeptoren:

Die Rezeptoren, die auf den spezifischen Agonisten N-Methyl-D-Aspartat (NMDA) reagieren, werden NMDA-Rezeptoren genannt.

Die zweite Klasse von Glutamat-Rezeptoren reagiert nicht auf NMDA. Diese Rezeptoren werden daher non-NMDA-Rezeptoren genannt. Die NMDA-Rezeptoren stellen eine Art „zelluläres Gedächtnis“ dar.

Motivation, Freude und Engagement fördern die Langzeitpotenzierung und damit die Verbindungen im neuronalen Netz. Dabei freiwerdende Transmitter wie Azetylcholin oder Noradrenalin können die Ausbildung der Langzeitpotenzierung verbessern und verlängern.

Die Langzeitpotenzierung wurde auch an Synapsen des motorischen Kortex wiederholt gezeigt (Asanuma / Pavlides, 1997; Rioult-Pedotti et al., 1998, 2000).

Im Rahmen der Lernprozesse im motorischen Kortex kommt es u.a. zur Steigerung der synaptischen Übertragung, wenn im Rahmen des Übungsprozesses die Afferenzen des primären somatosensorischen Kortex und / oder thalamischer Kerne aktiviert werden.

3.3 Das motorische Gedächtnis

Das motorische Gedächtnis lässt sich nur bedingt lokalisieren.

Untersuchungen haben ergeben, dass sich vor allem die Schaltkreise des Kleinhirns durch verschiedene Bewegungserfahrungen verändern und ihre Arbeitsweise modifizieren.

Verschiedene Assoziationsfelder der Großhirnrinde speichern sensorische und motorische Informationen; die Basalganglien können aufgrund ihrer Verbindungen zum Assoziationskortex und zum limbischen System ebenfalls Informationen über Bewegungsänderungen erhalten und speichern.

Die Informationen aus beiden Gedächtnisarten sind für die Motorik wichtig.

Die Inhalte des expliziten Gedächtnisses können über bestimmte Erinnerungen auch spezielle Wahrnehmungen aktivieren.

Das implizite Gedächtnis verfügt über Inhalte der Wahrnehmung und der motorischen Fertigkeiten. Aus diesem Grund kann man davon ausgehen, dass das motorische Gedächtnis, also die Erinnerung an Bewegungsabläufe, ein Teilbereich des impliziten Gedächtnisses ist.

Teil des motorischen Lernprozesses ist es, das neu erworbene Wissen verfügbar zu machen, das heißt die Informationen müssen so im Gehirn gespeichert werden, dass sie in der entsprechenden Situation abrufbar sind.

Wie bei jeder erlernten Fertigkeit beziehen sich die Möglichkeiten der Ausführung primär auf die Menge der gespeicherten Informationen.

Die verschiedenen mit der Speicherung von sensorischen und motorischen Informationen betrauten Gehirnareale stellen das motorische Gedächtnis dar. Ihre Funktionsweise und Kooperation beeinflusst die Ausführung von Bewegungen und die Lernfähigkeit (Miltner und Weiss, 1999; Cabeza und Nyberg, 2000).

3.4 Basalganglien – Einfluss auf die Motorik

Die Basalganglien sind eine Gruppe miteinander in Verbindung stehender, subkortikaler Kernregionen, die u.a. in kognitive und motorische Funktionen involviert sind.

Für einen effizienten motorischen Ablauf sind sie unersetzlich, da sie zur Planung, Initiierung und Ausführung von Bewegungen maßgeblich beitragen.

Sie erfüllen spezifische Aufgaben, die von anderen subkortikalen Kernkomplexen des Cerebrums oder Cerebellums nicht wahrgenommen werden können (Strüder, H.K., 2001).

Bei Gesunden erhalten die Basalganglien adäquate Informationen über den peripheren motorischen Input, die spinale Propriozeption und Sensomotorik und ihre cerebelläre und thalamische Verarbeitung sowie die Assoziationen des motorischen Kortex.

Insbesondere bei funktionellen Störungen der Basalganglien, z.B. beim Morbus Parkinson, lässt sich die Bedeutung der Basalganglien für die zentrale und spinale Steuerung der Motorik erkennen. Dies wird bei normaler Funktion in der Regel unterbewertet, da der Effekt auf die Modifikation der Bewegungsausführung beim Gesunden kaum klar definierbar ist.

Dies gilt sowohl für willkürliche als auch für reflektorische Bewegungen und ihre implizite oder explizite Beeinflussung.

Die Erkrankungen der Basalganglien führen zu einer mangelnden Kontrolle der Bewegungsplanung und – durchführung (Marsden 1982).

Dies ist das wesentliche motorische Defizit dieser Patienten.

4. Motorikmessung zur Frühdiagnose von Stammganglienerkrankungen bei Erwachsenen

Eine bei Stammganglienerkrankungen (M.Parkinson, M.Huntington, M.Wilson) bereits bewährte Testmethode, die sensitiv motorische Defizite detektiert (Hefter 1987), wurde 1990 von Arendt et al. auf die Verwendbarkeit bei HIV Patienten überprüft.

Untersucht wurden damals 50 klinisch neurologisch unauffällige HIV – positive Patienten, die alle älter als 18 Jahre waren. Durch eine vorausgegangene klinische Untersuchung konnte bei den Infizierten kein Hinweis auf eine bestehende Enzephalopathie gefunden werden.

Durch diese Testbatterie wurden nun die feinmotorischen Fähigkeiten gemessen und die Ergebnisse mit denen einer Kontrollgruppe von 43 seronegativen, gesunden Probanden verglichen.

Man stellte fest, dass das seropositive Patientenkollektiv, trotz der klinisch nicht nachweisbaren neurologischen Defizite, in zwei dieser Messungen signifikant schlechter abschnitt als die Kontrollgruppe.

Die Parameter CT (contraction time) und MRAM (most rapid alternating movements) (siehe Untersuchungsmethoden), stellten sich als sensitive Testmethoden dar, um bei Erwachsenen subklinische motorische Defizite aufzudecken.

Diese Testreihe wurde daraufhin 1990 an der Neurologischen Klinik der Universitätsklinik Düsseldorf (UKD) als Screeninguntersuchung eingeführt, mit der bis heute mehrere tausende erwachsene seropositive Patienten untersucht wurden.

Die Patienten werden in regelmäßigen Abständen von 3 bzw. 6 Monaten (bei stabilen Werten) untersucht; somit ist eine Überwachung der Krankheitsprogression möglich.

Schon früh deutete einiges darauf hin, dass die ZNS Beteiligung durch antiretrovirale Medikation reversibel sein könnte.

Heute kann man den behandelnden Ärzten Vorschläge für eine das ZNS erreichende, effektive Therapie an die Hand geben.

Der Schluss daraus, dass diese Früherkennung anhand der von Arendt 1990 eingeführten Testbatterie auch für HIV- infizierte Kinder aussagekräftig sei, wurde 2003 von von Giesen et. al erbracht.

II Fragestellung

In Zusammenhang mit Basalganglienerkrankungen (wie zum Beispiel der Chorea Huntington oder dem Morbus Parkinson) wurden funktionelle Motoriktests entwickelt.

Diese Testbatterie ist anfangs zum Therapiemonitoring von Basalganglienerkrankungen (Arendt et al. 1992a; Hefter et al.1993) eingesetzt worden und gewann später Bedeutung im Rahmen neurologischer Screening – Untersuchungen bei HIV – 1 seropositiven Menschen (Arendt et al. 1990).

Somit sind Methoden entstanden, die Aufschlüsse über den Status der Feinmotorik zulassen und diesen anhand einer Testbatterie verifizieren.

In einer Testserie mit HIV – seropositiven und HIV – seronegativen Kindern, konnte bei den seronegativen Kindern mit zunehmendem Alter ein motorischer Reifungsprozess beschrieben werden (von Giesen et al. 2003).

Dieser Reifungsprozess erstreckt sich bis ins Erwachsenenalter, was anhand einer für eine seronegative Erwachsenenkontrollgruppe (von Giesen et al. 1994) erstellten Werte deskriptiv verzeichnet werden kann.

Diese Tatsache könnte ein Beleg dafür sein, dass mit zunehmendem Alter eine Reifung der motorischen Bahnen durchgemacht wird.

In der vorliegenden Arbeit soll der Fragestellung nachgegangen werden, ob sich bei gesunden Kindern und Jugendlichen im Alter von 7 – 18 Jahren eine Altersabhängigkeit in den elektrophysiologischen Messergebnissen der zuvor erwähnten Testbatterie zeigt und sich diese Ergebnisse mit konventionellen Tests (zum Beispiel dem Grooved Pegboard Tests) korrelieren lassen.

III Untersuchungsmethoden

1) Erhebungskollektiv

Von Juli 2003 bis Anfang März 2005 wurden an der Neurologischen Klinik des Universitätsklinikums Düsseldorf insgesamt 51 gesunde Kinder und Jugendliche der Jahrgänge 1985 bis 1997 mit der unten beschriebenen elektrophysiologischen Testreihe untersucht.

Die demographischen Daten der Kinder sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Kinder und Jugendlichen waren zwischen sieben und achtzehn Jahren alt.

Außerdem kam der Grooved Pegboard Test zur Anwendung.

Es sollte überprüft werden, ob eine signifikante Korrelation zwischen diesem Test und den elektrophysiologischen Messergebnissen aus der Testbatterie von Arendt et al. bestehen.

Tabelle 1. Detaillierte demographische Daten aller untersuchten Kinder und Jugendlichen

	Gruppe 1 (7 - 11 Jahre)	Gruppe 2 (12 – 15 Jahre)	Gruppe 3 (16 – 18 Jahre)
Gesamtzahl			
Untersucher (n)	n = 21	n = 17	n = 13
Geschlecht			
Weiblich	n = 10	n = 9	n = 7
männlich	n = 11	n = 8	n = 6
Durchschnittsalter (Jahre)	9.5 ± 1.0	13.8 ± 1.2	16.8 ± 0.7
Händigkeit			
Rechts	n = 17	n = 16	n = 10
Links	n = 4	n = 0	n = 1
Beidhänder	n = 0	n = 1	n = 2

2) Datenerhebung

Die neurologische Klinik des Universitätsklinikums Düsseldorf führt seit 1987 eine Langzeitdatenerhebung an seropositiven HIV Patienten zur Erfassung subklinischer neurologischer Defizite durch. Hierbei werden die Patienten neben neuropsychologischen Tests auch Untersuchungen der Feinmotorik unterzogen.

Die Patienten werden nach 3 – 6 Monaten wieder zur nächsten Vorsorgeuntersuchung einbestellt (Längsschnittuntersuchung).

Gemäß der Fragestellung in Bezug auf die Altersabhängigkeit der elektrophysiologischen Messergebnisse bei gesunden Kindern und Jugendlichen im Alter von sieben bis achtzehn Jahren, wurden 51 Normalpersonen im Zeitraum von Juli 2003 bis Anfang März 2005 mit derselben Messeinrichtung untersucht.

Bei den Kindern und Jugendlichen handelte es sich um 51 gesunde Menschen, die aus dem großen Kollektiv einer Jugendgruppe (Pfadfinder) eingeladen wurden, an dieser Erhebung teilzunehmen.

Die Kinder und Jugendlichen wurden an ihrem Wohnort abgeholt und in die neurologische Klinik des Universitätsklinikums Düsseldorf gefahren.

Das gesamte Kollektiv wurde nur einmalig untersucht, so dass es sich hierbei um eine Querschnittstudie handelt.

Zu Beginn jeder einzelnen Datenerhebung wurde den Kindern und Jugendlichen der Ablauf und die Bedeutung der Testreihe genau erläutert, so dass aufkommende Fragen sofort beantwortet werden konnten.

Bei diesem Kollektiv wurden drei unterschiedliche Messungen, sowie ein weiterer für die Feinmotorik spezifischer (Grooved Pegboard) Test an der rechten und linken Hand durchgeführt.

Die Ausführungen der Tests betraf sowohl die rechte, als auch die linke Hand.

Die Untersuchung dauerte insgesamt ungefähr 15 Minuten, so dass ausreichende Konzentration gewährleistet war.

a) Schnellstmögliche Zeigefingerextension

Die Kinder und Jugendlichen sollten, während sie bequem auf einem Stuhl saßen, für diese Untersuchung den Zeigefinger bis zum proximalen Interphalangealgelenk (PIP) in einen Plastikring stecken.

Dieser Ring verfügte über einen verstellbaren Durchmesser.

Die restlichen Finger konnten entspannt daneben ausgestreckt werden, während der Zeigefinger fest eingespannt wurde. Ziel war es dabei, den Finger möglichst gut zu fixieren, ohne dass es unbequem oder gar schmerzhaft für die Kinder und Jugendlichen war.

Es konnten nun in unterschiedlichen Abständen über einen Kopfhörer Töne wahrgenommen werden, die 50 ms (Millisekunden) andauerten.

Für die Kinder und Jugendlichen stellten diese Töne ein akustisches Signal dar, auf das sie so bald wie möglich mit dem Strecken des eingespannten Fingers antworten sollten.

Sie wurden darüber informiert, dass die Bewegung so früh wie möglich nach dem Ton und so schnell es ihnen möglich war, gegen den Widerstand nach oben zu geschehen habe. Der Finger sollte nach dieser schnellen Bewegung wieder entspannt in die Ruhelage zurückgeführt werden.

Ein Kraftaufnehmer war mit dem Plastikring verbunden und somit in der Lage, die Kontraktionen aufzunehmen und an den Computer weiterzuleiten.

Die Aufzeichnung dauerte 30 Sekunden, in denen fünfzehn Kontraktionskurven aufgezeichnet wurden.

Bestimmt wurde hierbei die schnellstmögliche Zeigefingerextension, auch als MRC („most rapid voluntary isometric index finger extension“) abgekürzt.

Bei der späteren Auswertung am Computer wurden nun die Parameter Reaktionszeit, Kontraktionszeit und Kraftamplitude berechnet.

Die Reaktionszeit (RT (msec)) ergab sich dabei aus der Zeit vom Beginn des Tones bis zur ersten messbaren Bewegung des Fingers gegen den Kraftaufnehmer.

Die Zeit vom Beginn der ersten Bewegung des Fingers bis zum Erreichen des Maximums der Kontraktion, wird als Kontraktionszeit (CT (msec)) bezeichnet.

Schließlich wurde noch das Maximum der Kraftamplitude (AM) bestimmt, welches den maximalen Ausschlag nach oben in Newton angibt.

b) Tremor

Die Kinder und Jugendlichen blieben auf dem Stuhl sitzen; es wurde ihnen mit Hilfe eines Klebestreifens ein Akzelerometer (PCB 308 B) auf dem Fingernagel befestigt.

Daraufhin wurden sie angewiesen, den Arm und alle Finger gerade nach vorne auszustrecken und die Hand dabei möglichst in völlig pronierter Position zu halten.

Der Arm, die Hand und die Finger sollten nun für einen Zeitraum von 25 Sekunden so ruhig gehalten werden, wie es den Kindern und Jugendlichen möglich war, ohne dass sie sich dabei an Gegenständen abstützten oder die andere Hand zu Hilfe nahmen.

Das Akzelerometer registrierte die Schwingungen, die trotz des Ruhighaltens auftraten, und leitete sie an den angeschlossenen Computer weiter.

Die 25 Sekunden wurden später in acht Untereinheiten eingeteilt und anschließend mit einem FFT – Algorhythmus spektralanalysiert.

Die somit entstandenen acht Spektren wurden gemittelt; dann wurde die Frequenz des resultierenden führenden Spitzenwertes als TPF („tremor peak frequency“) definiert und in Hz angegeben.

c) Schnellstmögliche alternierende Zeigefingerbewegung

Das Akzelerometer wurde weiterhin auf dem Nagel des Zeigefingers, mit einem Klebestreifen befestigt, belassen. Die Hand sollte bequem auf einer Unterlage aufgelegt werden, wobei die Handkante nach unten zeigte. Nur der Zeigefinger sollte ausgestreckt werden, um im Folgenden mit einer möglichst hohen Frequenz im Metacarpophalangealgelenk (MCP) abwechselnd flektiert und extendiert zu werden.

Dies sollte von den Kindern und Jugendlichen etwa 34 Sekunden durchgehalten werden, wobei ihnen der Ablauf der Untersuchung zuvor ausführlich erklärt und demonstriert wurde.

Das Akzelerometer leitete die Werte ebenfalls an den Rechner weiter, wobei die Amplitude des Ausschlages vorher um den Faktor 100 (im Gegensatz zur Tremormessung) reduziert wurde.

Die Aufzeichnungsspanne wurde nun vom Computer in 16 Untereinheiten von 2 Sekunden Dauer, aufgeteilt. Jede dieser Einheiten wurde ebenfalls spektralanalysiert.

Die höchste Durchschnittsfrequenz der Einheiten wurde als „ most rapid alternating movement “ (MRAM (Hz)) bezeichnet, welche meistens am Anfang dieser Untersuchung erreicht wurde. Aus diesem Grunde wurde sie den Kindern und Jugendlichen zwar vorgeführt, üben war aber aufgrund der raschen Ermüdbarkeit nicht erlaubt.

Um die anderen beiden Untersuchungen durch die bereits erwähnte Ermüdung der Hand nicht zu beeinflussen, wurde die schnellste alternierende Zeigefingerbewegung am Ende der Testreihe durchgeführt.

d) Grooved Pegboard Test

Der Grooved Pegboard Test (Model 32025) ist ein Geschicklichkeitstest, der die motorische Fertigkeit der Finger- und Handmotorik überprüfen kann.

Dieser Pegboard Test bedarf einer weitaus höheren und komplexeren „visual – motor coordination“ als die meisten anderen Pegboard Tests (Ronald Trites 1977).

Den Kindern und Jugendlichen wurde zu Beginn des Tests eine Einleitung gegeben.

Der Pegboard Test besteht aus einem Steckbrett, das 25 Löcher hat, und den zugehörigen Pins.

Alle Pins sehen gleich aus und besitzen eine runde und eine angeschrägte (rechtwinklige) Seite; somit gleicht die Form einem Schlüsseloch.

Diese Pins sollten auf Geschwindigkeit ihre Steckvertiefungen finden, daher spielte auch der zeitliche Rahmen sowie die Schnelligkeit während der Testdurchführung eine wichtige Rolle.

Die Pins lagen vor Startbeginn allesamt in einer Sammelmulde.

Das Steckbrett wurde genau mittig vor jedem Kind bzw. Jugendlichen positioniert; für die Durchführung durfte immer nur eine Hand benutzt werden.

Den Anfang machte stets die rechte Hand, worauf im Anschluss die linke Hand den Test beendete.

Die pausierende Hand sollte bei jedem Steckvorgang auf dem jeweiligen Oberschenkel der zu untersuchenden Person ruhen.

Auf ein Startsignal hin begannen die Kinder und Jugendlichen so schnell sie konnten mit der angezeigten Hand einen Pin nach dem anderen aus der Sammelmulde zu holen und in die dafür vorgesehenen Steckvorrichtungen des Bretts zu stecken.

Dabei war es wichtig die Pins in der richtigen Rotation jeweils in die Steckvorrichtung zu bringen. Jede Steckvertiefung war anders angeordnet.

Die Zeit (in msec.) wurde gestoppt, wenn das ganze Steckbrett mit Pins versehen war.

Eine Maximaldauer von 5 Minuten pro Hand sollte nicht überschritten werden, ansonsten wurde der Test abgebrochen.

Während des Steckvorganges auf den Boden fallende Pins sollten nicht aufgehoben werden.

In diesem Fall wurde einfach der nächste Pin gezogen. Natürlich gab es aus diesem Grunde mehr Pins als Löcher.

Die sogenannten „drops“ (fallende Pins) wurden allerdings gezählt und vermerkt.

Nach Durchführung des Tests mit der rechten Hand, wurde die Sammelmulde wieder mit den Pins aufgefüllt und die linke Hand folgte der gleichen Versuchsanordnung.

3) Statistische Auswertung

Anfänglich wurden die verschiedenen Datensätze der untersuchten Kinder und Jugendlichen in Tabellen von Microsoft Excel eingegeben und sortiert.

Daraufhin wurde die statistische Auswertung mit der Statistiksoftware SPSS 12 für Windows, Version 12.0.1 (11.Nov.2003) durchgeführt.

Da es drei unabhängige Gruppen innerhalb des Kollektivs der Kinder und Jugendlichen zu vergleichen gab, kam der Kruskal-Wallis-Test zur inferenzstatistischen Auswertung in Frage.

Um Abhängigkeiten verschiedener motorischer Parameter zu untersuchen, wurde die Regressionsanalyse herangezogen und mit Hilfe von Regressionsgeraden bildlich dargestellt.

Die Aussage, ob ein signifikanter Unterschied zwischen zwei Gruppen (t-Test) oder eine signifikante Änderung bezüglich eines Parameters (Regressionsgerade) vorlag, wurde durch den jeweiligen p-Wert bestimmt.

IV Ergebnisse

1) Durchführbarkeit

Allen Kindern und Jugendlichen gelang es ohne Schwierigkeiten, der Aufgabenstellung zu folgen, und somit war die Auswertung der Untersuchung problemlos.

Bereits 2003 wurde von von Giesen et al. herausgefunden, dass Kinder unter sieben Jahren noch nicht in der Lage sind die Testbatterie zuverlässig zu bewältigen.

Daher wurden nur Kinder ab einem Alter von sieben Jahren in die Studie eingeschlossen.

Alle vier Messgrößen, (TPF, MRAM, RT und CT), sowie die Werte für den Grooved Pegboard Test konnten bei den 51 Kindern und Jugendlichen zuverlässig erfasst werden.

2) Altersabhängigkeit der motorischen Testreihe bei 51 gesunden Kindern und Jugendlichen

Es sollte der Frage, ob motorische Messwerte altersabhängig sind, nachgegangen werden. Hierfür wurden Regressionskoeffizienten und Regressionsgeraden gebildet, bei denen die vier Messwerte TPF, MRAM, RT und CT gegen das Alter aufgetragen wurden.

Als Ergebnis lässt sich durchaus festhalten, dass eine gewisse Tendenz zu schnelleren Frequenzen (MRAM, TPF) sowie kürzeren Reaktions- und Kontraktionszeiten (RT, CT) bei älteren Kindern besteht.

Zwischen dem Alter und der CT bzw. RT besteht, bezogen auf das gemessene Gesamtkollektiv, ein mittelstarker negativer Zusammenhang, für MRAM und TPF dementsprechend ein mittelstarker positiver Zusammenhang.

Regressionsgeraden

Die Korrelationen zwischen dem Faktor Alter und den motorischen Messwerten CT, RT, MRAM und TPF haben folgende Ergebnisse geliefert.

Tabelle 2: Korrelationen nach Pearson zwischen dem Alter einerseits und motorischen Parameter andererseits sowie den zugehörigen p-Werten (t-Test für Korrelationskoeffizienten)

Korrelation nach Pearson	CT	RT	MRAM	TPF
Alter	-,385	-,519	,608	,522
p-Wert (t-Test für Korrelationskoeffizienten)	,005	,000	,000	,000

Die Streudiagramme mit den jeweiligen Regressionsgeraden sehen wie folgt aus:

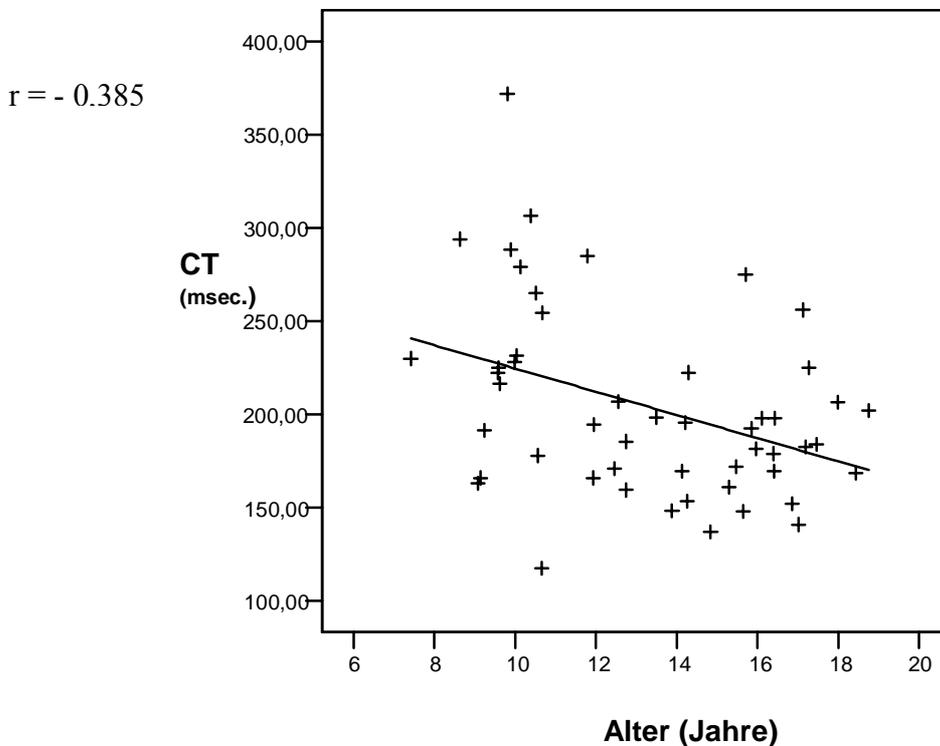


Abbildung 1.1: Streudiagramm Alter (x-Achse) vs. CT in msec. (y-Achse) und der zugehörigen Regressionsgeraden

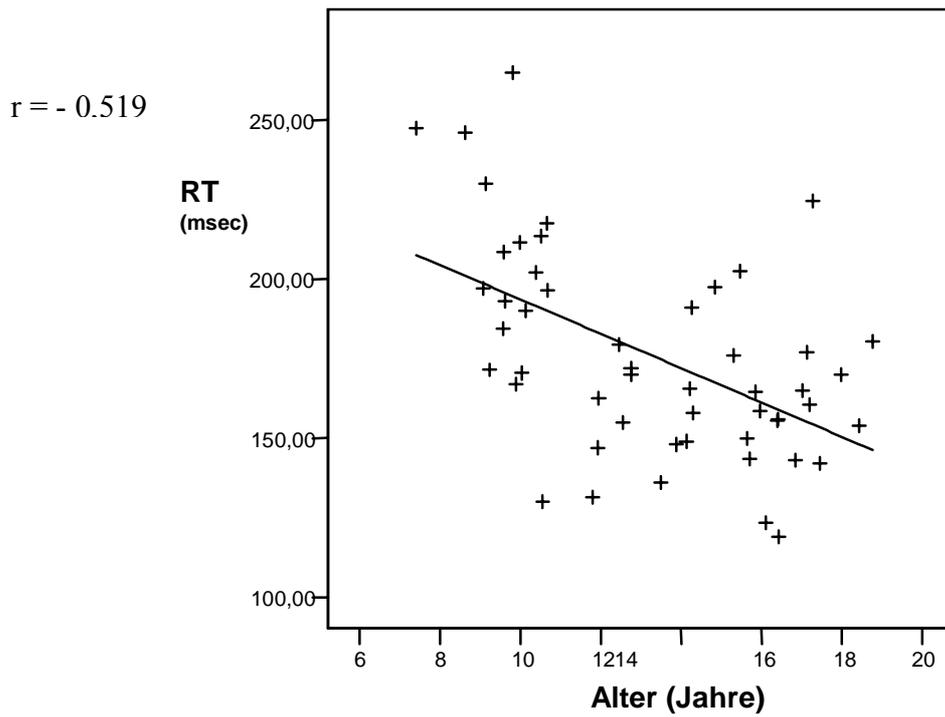


Abbildung 1.2: Streudiagramm Alter (x-Achse) vs. RT in msec. (y-Achse) und der zugehörigen Regressionsgeraden

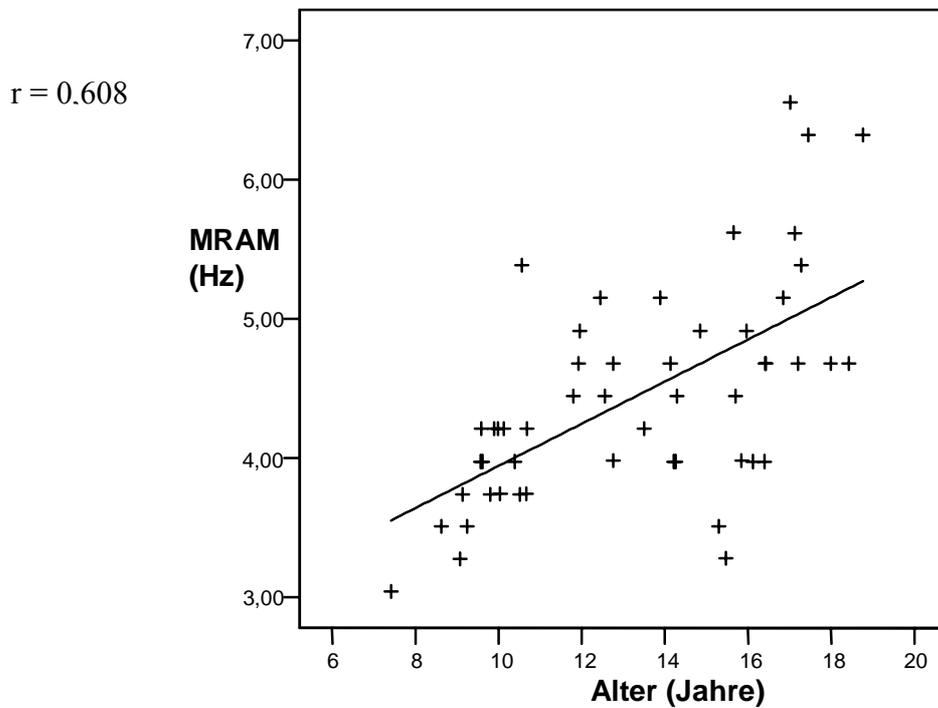


Abbildung 1.3: Streudiagramm Alter (x-Achse) vs. MRAM in Hz (y-Achse) und der zugehörigen Regressionsgeraden

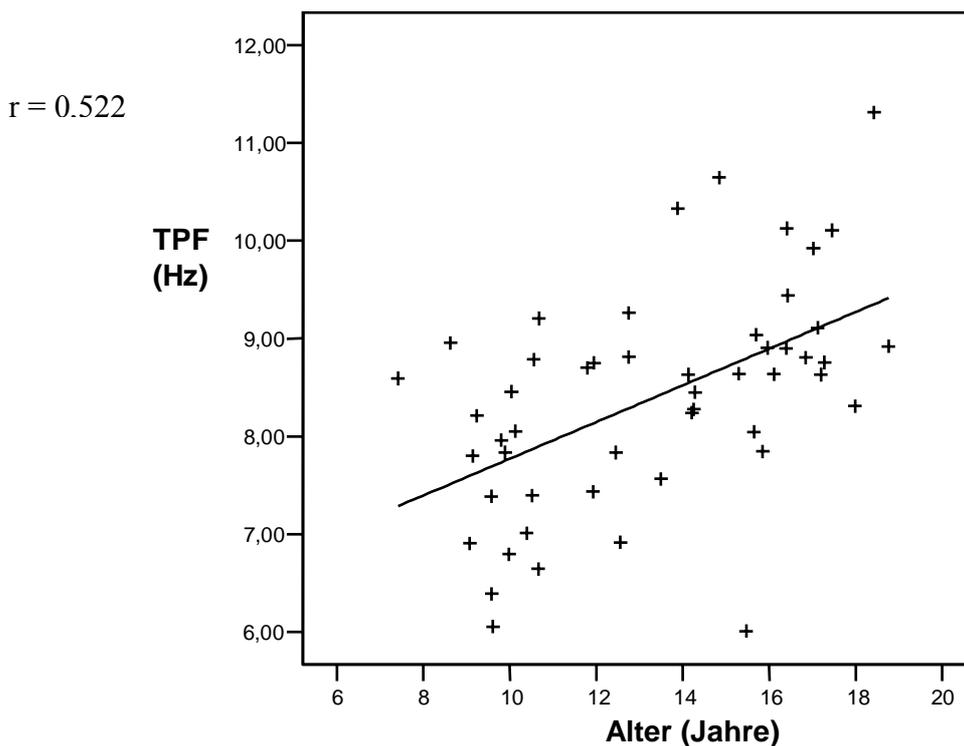


Abbildung 1.4: Streudiagramm Alter (x-Achse) vs. TPF in Hz (y-Achse) und der zugehörigen Regressionsgeraden

3) Vergleich verschiedener Untergruppen der 51 gesunden Kinder und Jugendlichen bzgl. der motorischen Parameter

Aus dem Kollektiv der 51 Kinder und Jugendlichen wurden drei Altersgruppen gebildet und verglichen.

Hierfür wurde statistisch der Kruskal-Wallis-Test genutzt, der generelle Gruppenunterschiede testet.

Die Mittelwerte der verschiedenen motorischen Parameter wurden für die drei Untersuchungsgruppen graphisch dargestellt.

Die Balkendiagramme in den **Abbildungen 1.5 bis 1.8** zeigen, dass sich die drei Altersgruppen, bezogen auf den zu untersuchenden motorischen Parameter, unterscheiden lassen.

Es lässt sich feststellen, dass die Frequenzen bei TPF und MRAM mit ansteigendem Alter der gebildeten Untersuchungsgruppen schneller werden.

Dasselbe kann man anhand der Reaktionszeit und in der Tendenz auch bei der Kontraktionszeit erkennen, die je nach Altersgruppe schneller werden.

Die Untersuchungsgruppen der Kinder und Jugendlichen wurden wie folgt gebildet:

Gruppe 1: 7 – 11 Jahre

Gruppe 2: 12 – 15 Jahre

Gruppe 3: 16 – 18 Jahre

MRAM (Hz)

Kruskal-Wallis-Test:

- Gruppe 1: 17,57
- Gruppe 2: 27,59
- Gruppe 3: 37,54

p-Wert: $p = 0.001 < \alpha^* = 0.01$ (signifikant)

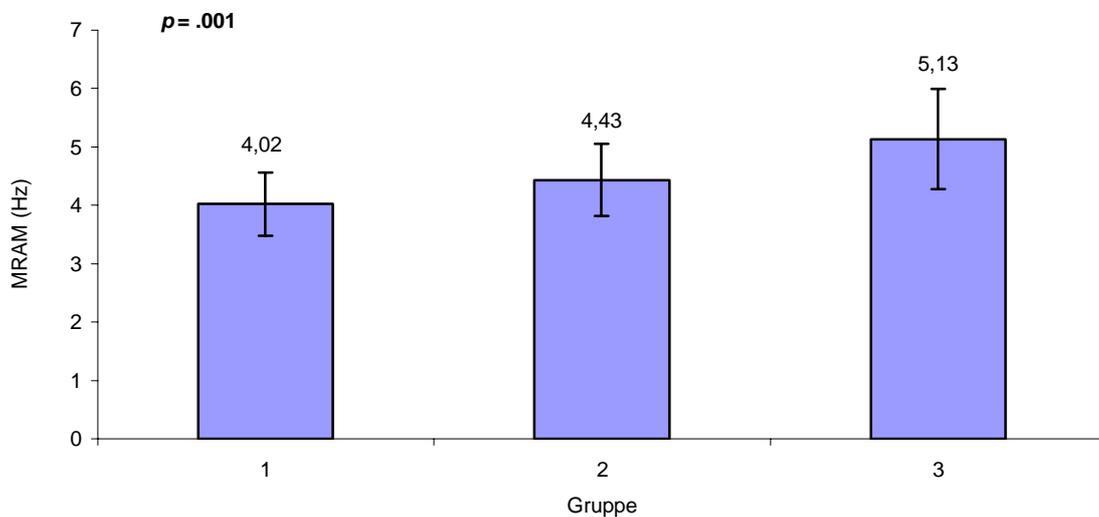


Abbildung 1.5: Balkendiagramm Gruppe (x-Achse) vs. MRAM (Hz) (y-Achse) in den drei Gruppen

RT (msec.)

Kruskal-Wallis-Test:

- Gruppe 1: 34,05
- Gruppe 2: 21,97
- Gruppe 3: 18,27

p-Wert: $p = 0.004 < \alpha^* = 0.01$ (signifikant)

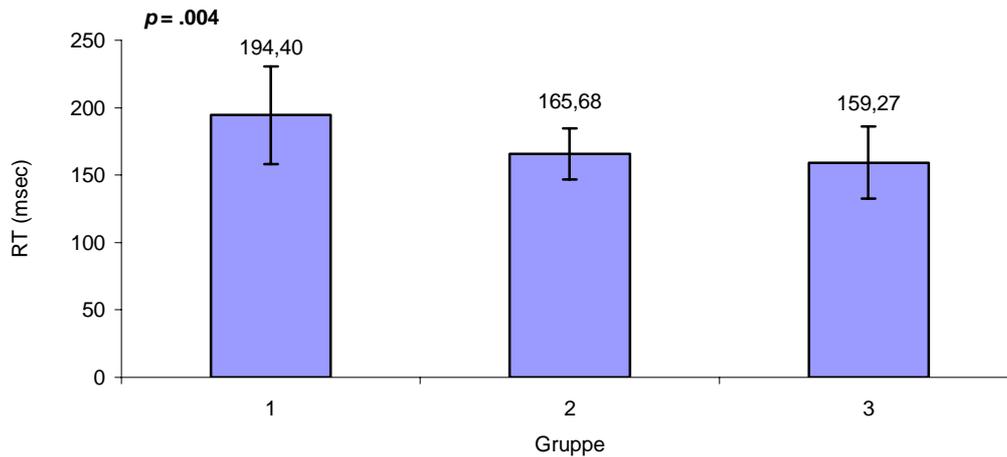


Abbildung 1.6: Balkendiagramm Gruppe (x-Achse) vs. RT (msec.) (y-Achse) in den drei Gruppen

CT (msec.)

Kruskal-Wallis-Test:

- Gruppe 1: 33,62
- Gruppe 2: 18,88
- Gruppe 3: 23,00

p-Wert: $p = 0.007 < \alpha^* = 0.01$ (signifikant)

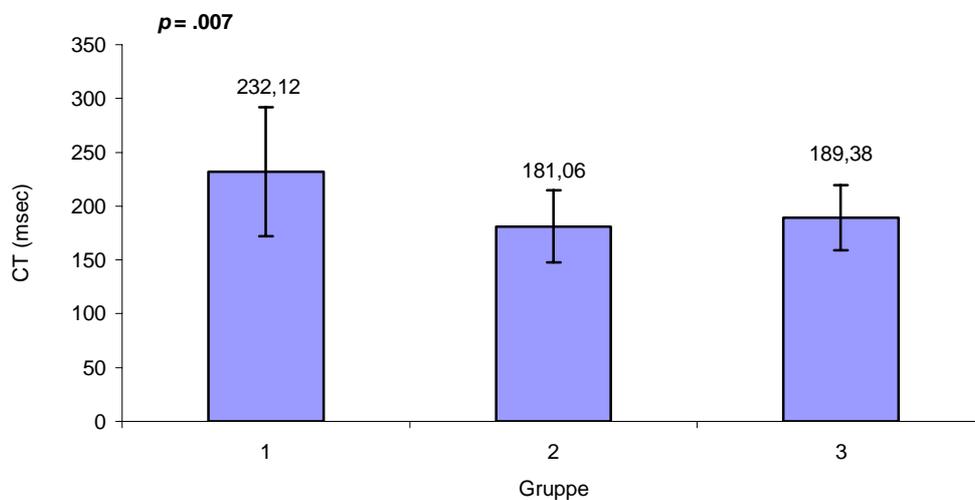


Abbildung 1.7: Balkendiagramm Gruppe (x-Achse) vs. CT (msec.) (y-Achse) in den drei Gruppen

TPF (Hz.)

Kruskal-Wallis-Test:

- Gruppe 1: 17,74
- Gruppe 2: 26,59
- Gruppe 3: 38,65

p-Wert: $p = 0.000 < \alpha^* = 0.00714$ (signifikant)

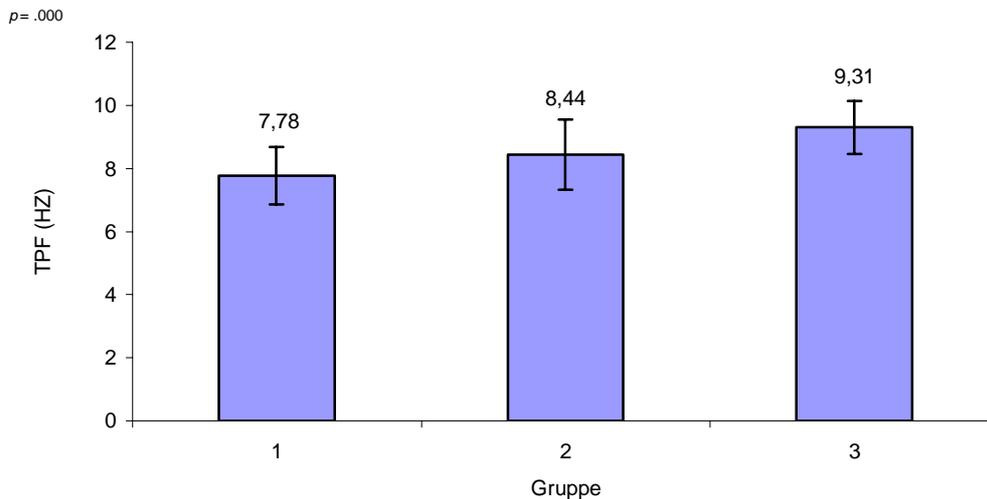


Abbildung 1.8: Balkendiagramm Gruppe (x-Achse) vs. TPF (Hz.) (y-Achse) in den drei Gruppen

4) Vergleich der untersuchten Gruppe von 51 Kindern und Jugendlichen mit gesunden Erwachsenen

Es sollte nun der Frage nachgegangen werden, inwieweit sich deskriptiv diese Gruppe von 51 gesunden Kindern und Jugendlichen, im Alter von 7 bis 18 Jahren, von einer gesunden Erwachsenenengruppe unterscheidet.

Hierbei wurden für den entsprechenden Vergleich die Referenzwerte von Erwachsenen zugrunde gelegt, die 1994 in einer Arbeit von von Giesen et al. veröffentlicht wurden, (siehe auch **Tabelle 3**).

Es zeigte sich, dass Kinder und Jugendliche niedrigere Frequenzen in TPF und MRAM wie auch langsamere Reaktions- und Kontraktionszeiten aufwiesen.

Die Tremorfrequenz (TPF), die bei den Kindern und Jugendlichen gemessen wurde, lag im Mittel bei $8.5 \text{ Hz} \pm 1.2$ (rechts) und $8.2 \text{ Hz} \pm 1.4$ (links).

Erwachsene erreichten hierbei Werte von $9.5 \text{ Hz} \pm 2.2$ (rechts) und $9.4 \text{ Hz} \pm 2.1$ (links).

Die Erwachsenen zeigten also einen höher frequenten Haltetremor.

Bei den MRAM lagen die Erwachsenen bei $6.5 \text{ Hz} \pm 1.1$ (rechts) und $5.6 \text{ Hz} \pm 0.9$ (links), die Kinder und Jugendlichen bei $4.6 \text{ Hz} \pm 0.8$ (rechts) und $4.2 \text{ Hz} \pm 1.0$ (links).

Bei der Reaktion auf das Tonsignal lagen die Kinder und Jugendlichen im Schnitt um 28.1 (rechts), bzw. 29.3 Millisekunden (links) über den Zeiten der Erwachsenen,

(siehe Tabelle 3).

Des Weiteren wurden die Kontraktionszeiten (CT in msec.) verglichen, die ebenfalls bei den Erwachsenen schneller waren.

Tabelle 3. Gegenüberstellung der gemittelten Messwerte von gesunder Erwachsenen- und Kinder- und Jugendlichenuntersuchungsgruppe.

	Gesunde Kinder und Jugendliche	Gesunde Erwachsenengruppe (von Giesen, 1994)
TPF rechte Hand (Hz)	8.5 ± 1.2	9.5 ± 2.2
TPF linke Hand (Hz)	8.2 ± 1.4	9.4 ± 2.1
MRAM rechte Hand (Hz)	4.6 ± 0.8	6.5 ± 1.1
MRAM linke Hand (Hz)	4.2 ± 1.0	5.6 ± 0.9
RT rechte Hand (msec.)	175.0 ± 35.1	146.9 ± 25.0
RT linke Hand (msec.)	176.7 ± 35.2	147.4 ± 25.9
CT rechte Hand (msec.)	197.7 ± 56.8	115.4 ± 20.0
CT linke Hand (msec.)	210.7 ± 53.8	119.6 ± 22.1

5) Vergleich der unterschiedlichen Altersgruppen unter den Kindern und Jugendlichen mit bekannten Messwerten von Erwachsenen

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob es Unterschiede in den motorischen Fähigkeiten zwischen gesunden Kindern und Jugendlichen bestimmter Altersstufen im Vergleich mit der Erwachsenenengruppe gibt.

Die wichtigen motorischen Parameter TPF, MRAM, RT und CT wurden bei den Kindern und Jugendlichen in drei verschiedenen Altersgruppen ausgewertet,

(siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. Gegenüberstellung der Messwerte von drei verschiedenen Untersuchungsgruppen aus dem Kollektiv der gesunden Kinder und Jugendlichen sowie der erwähnten Erwachsenenengruppe

	Gruppe 1 (7 – 11 Jahre)	Gruppe 2 (12 – 15 Jahre)	Gruppe 3 (16 – 18 Jahre)	Erwachsene (von Giesen, 1994; ca. 30 Jahre)
TPF rechte Hand (Hz)	8.1 ± 1.0	8.6 ± 1.3	9.3 ± 0.8	9.5 ± 2.2
TPF linke Hand (Hz)	7.5 ± 1.2	8.3 ± 1.2	9.3 ± 1.2	9.4 ± 2.1
MRAM rechte Hand (Hz)	4.3 ± 0.6	4.7 ± 0.6	5.1 ± 0.9	6.5 ± 1.1
MRAM linke Hand (Hz)	3.8 ± 0.6	4.2 ± 0.7	5.1 ± 1.2	5.6 ± 0.9
RT rechte Hand (msec.)	192.0 ± 40.6	167.3 ± 22.2	157.8 ± 28.4	146.9 ± 25.0
RT linke Hand (msec.)	196.8 ± 38.8	164.1 ± 20.3	160.8 ± 30.2	147.4 ± 25.9
CT rechte Hand (msec.)	227.2 ± 67.2	174.2 ± 39.8	180.8 ± 34.4	115.4 ± 20.0
CT linke Hand (msec.)	237.1 ± 66.5	187.9 ± 33.0	198.0 ± 33.6	119.6 ± 22.1

Die statistische Auswertung zeigt deskriptiv, dass sich die motorischen Messwerte mit steigendem Alter den Werten der Erwachsenengruppe annähern (siehe Tabelle 4).

Es ist eine deutliche Tendenz zur Leistungssteigerung bei den motorischen Parametern TPF, MRAM, RT zu erkennen.

Aber auch die Werte für die Gruppe 1 im Vergleich zu der Erwachsenenkontrolle zeigen deutlich veränderte Ergebnisse.

Des Weiteren lässt sich feststellen, dass sich die gemessenen Werte für die linke Hand bei den Kindern und Jugendlichen mit zunehmender Altersgruppe den Werten der rechten Hand annähern. Dieser Sachverhalt wird besonders deutlich bei den Frequenzen von TPF und MRAM.

6) Vergleich der angewandten motorischen Testbatterie mit einem Geschicklichkeitstest der Finger- und Handmotorik

Es wurde noch der Frage, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den motorischen Parametern MRAM, CT und RT mit dem für die Feinmotorik bekannten Grooved Pegboard Test (GPT) besteht, geklärt.

Aus den Korrelationen nach Pearson und den dargestellten Regressionsgeraden, lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

Einen signifikanten Zusammenhang zwischen GPT und den ausgewählten motorischen Parametern MRAM, CT und RT lassen sich lediglich für den Vergleich RT / GPT und MRAM / GPT verifizieren.

Der Nachweis eines signifikanten Zusammenhangs zwischen den CT- Werten und dem Grooved Pegboard Test ist nicht gelungen, (**siehe Tabelle 5**).

Korrelationen und Streudiagramme

Tabelle 5: Korrelationen nach Pearson zwischen dem Grooved Pegboard Test (GPT) und MRAM ,CT bzw. RT sowie den zugehörigen p-Werten (t-Test für Korrelationskoeffizienten)

Korrelation nach Pearson	CT	MRAM	RT
GPT	, 232	, 466	, 591
p-Wert (t-Test für Korrelationskoeffizienten)	, 051	, 001	, 000

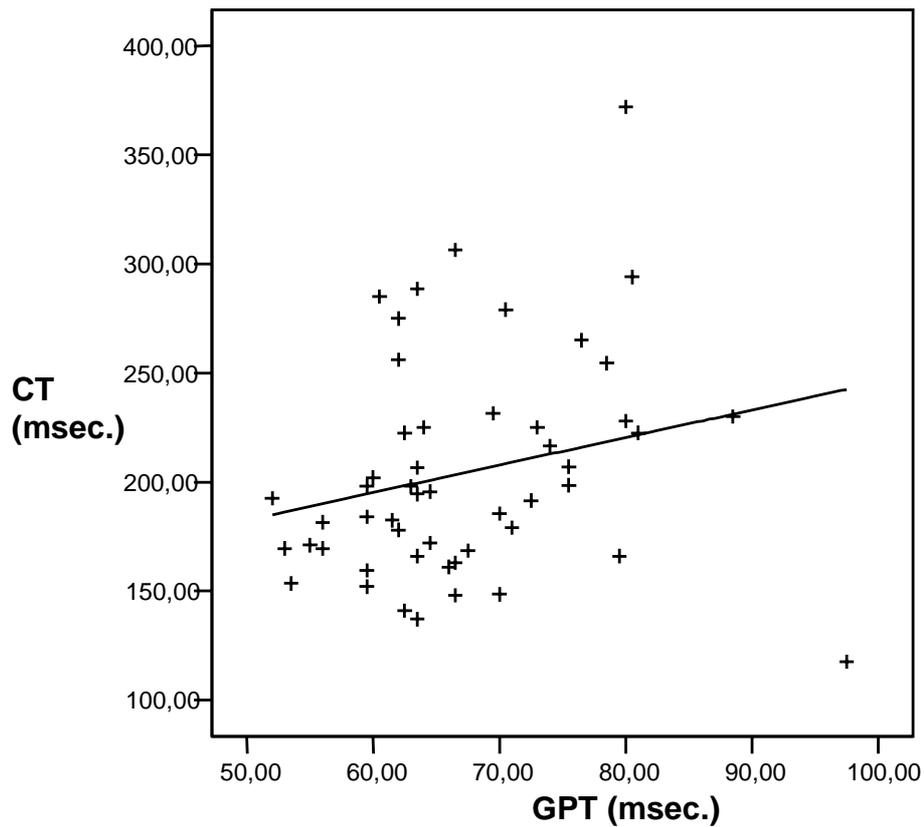


Abbildung 1.9: Streudiagramm zwischen den GPT-Werten (x-Achse) und den CT-Werten (y-Achse) mit der Regressionsgeraden

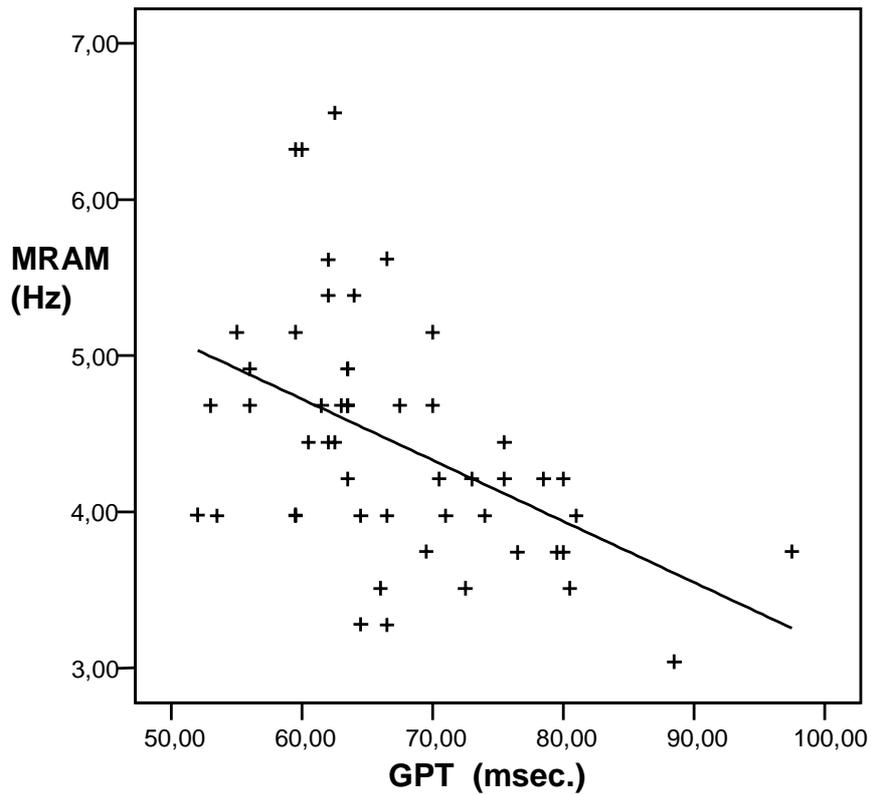


Abbildung 1.10: Streudiagramm zwischen dem Grooved Pegboard Test (x-Achse) und MRAM (y-Achse) sowie der zugehörigen Regressionsgeraden

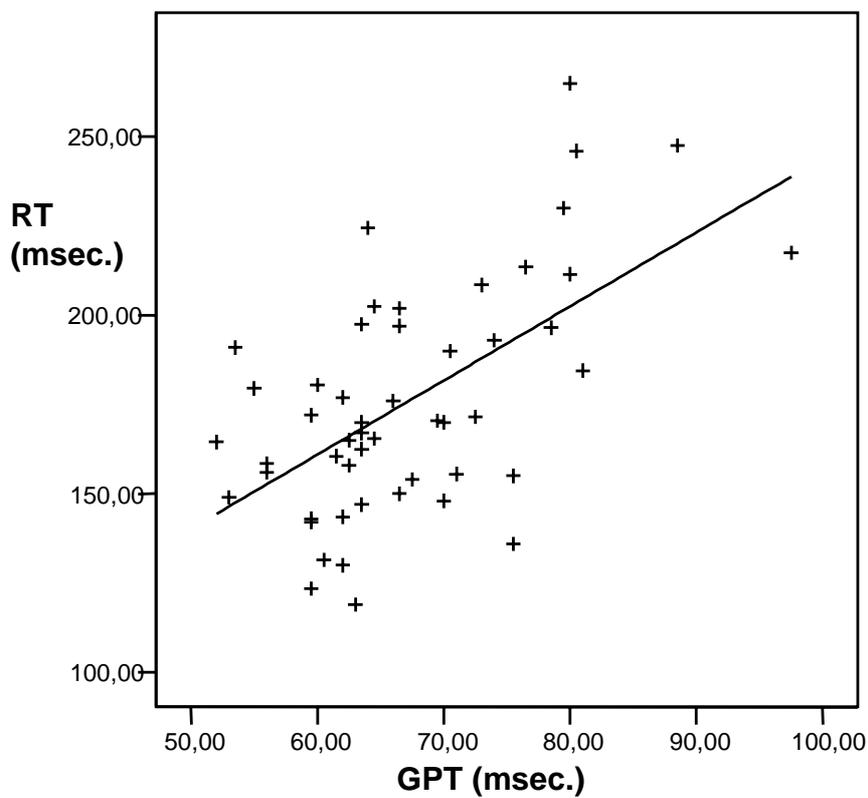


Abbildung 1.11: Streudiagramm zwischen dem Grooved Pegboard Test (x-Achse) und RT (y-Achse) sowie der zugehörigen Regressionsgeraden

7) Altersabhängigkeit beim Grooved Pegboard Test in Bezug auf die untersuchten 51 Kinder und Jugendlichen

Natürlich wurden auch Motorikergebnisse der drei verschiedenen Alterstufen aus dem Kollektiv der Kinder und Jugendlichen mit dem Pegboard-Test korreliert.

In dem folgenden Balkendiagramm lassen sich wieder generelle Gruppenunterschiede erkennen.

Die Mittelwerte des Grooved Pegboard Test in den drei Gruppen wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test gebildet.

Somit ist ersichtlich, dass die Zeit, welche die Kinder für den Stecktest benötigten, mit fortschreitender Altersstufe abnimmt.

Eine altersabhängige Tendenz zur schnelleren Ausführung des Grooved Pegboard Tests ist bei den gebildeten Altersgruppen zu erkennen.

Grooved Pegboard Test (GPT)

Kruskal-Wallis-Test:

- Gruppe 1: 36,29
- Gruppe 2: 20,09
- Gruppe 3: 17,12

p-Wert: $p = 0.000 < \alpha^* = 0.01$ (signifikant)

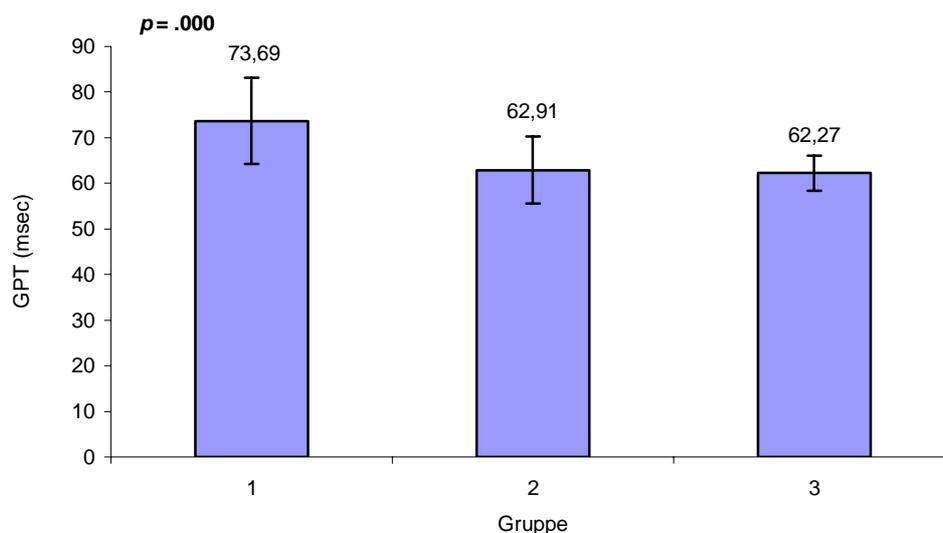


Abbildung 1.12: Balkendiagramm Gruppe (x-Achse) vs. GPT (msec.) (y-Achse) in den drei Gruppen

Das Streudiagramm und die Regressionsgerade (Abb. 1.13) zeigen die Korrelation zwischen dem Grooved Pegboard Test und dem Alter des Gesamtkollektivs der Kinder und Jugendlichen anschaulich.

Es zeigt sich ein mittelstarker Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren.

Je älter die Versuchspersonen waren, desto niedriger war der dementsprechende GPT-Wert und umgekehrt.

$$r = -0,620$$

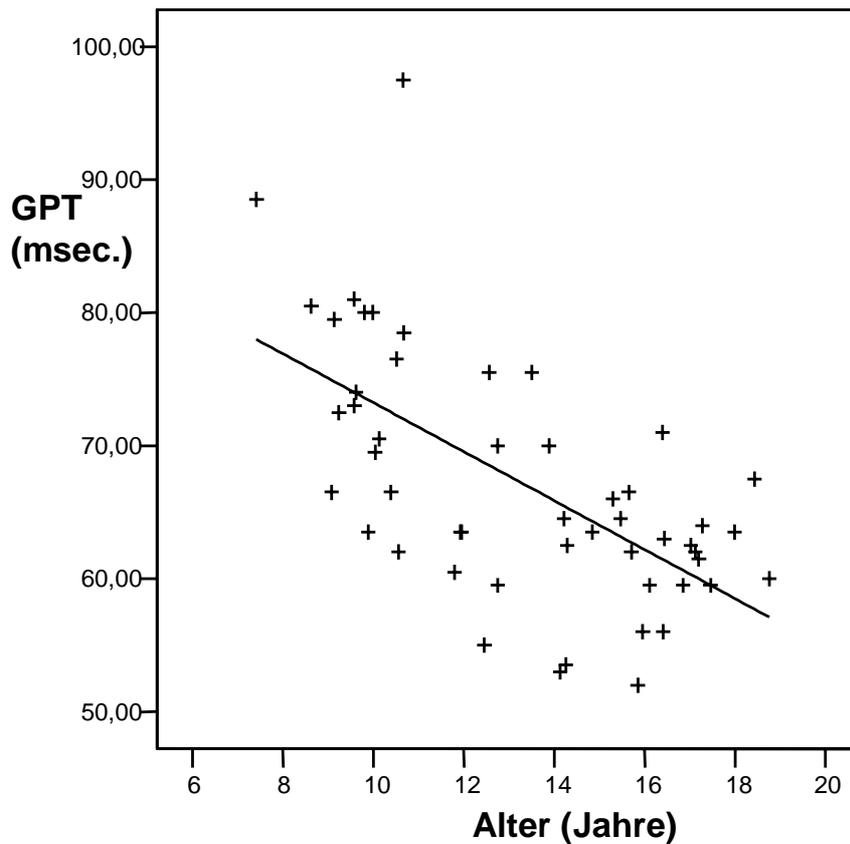


Abbildung 1.13: Streudiagramm Alter (x-Achse) vs. GPT (msec.) (y-Achse) und der zugehörigen Regressionsgeraden

V Diskussion

Das motorische Lernen bei Kindern und Jugendlichen ist anhand der bereits erwähnten elektrophysiologischen Messungen noch nicht untersucht und beschrieben worden.

Die elektrophysiologische Testbatterie wurde von Hefter et al. 1987 zusammengestellt.

In dieser Arbeitsgruppe ging es um die Detektion motorischer Defizite bei erwachsenen Patienten mit definierten Stammganglienerkrankungen (M. Huntington).

In der Studie von Hefter et al. konnten bereits für eine gesunde Erwachsenenkombirolgruppe altersabhängige Werte der verschiedenen motorischen Parameter gefunden werden.

Die Fähigkeit eines Patienten, eine Bewegung rasch zu initiieren und wieder zu beenden, lässt sich klinisch – wie mit den hier angewendeten Paradigmen – sehr leicht testen (Hefter 1987).

Seit 1990 haben Arendt et al. diese motorische Testbatterie, nachdem sie motorische Dysfunktionen bei HIV-infizierten Erwachsenen beschrieben hatten, als einen wesentlichen Parameter zur Vorhersage der weiteren Krankheitsprogression angewendet.

Bei HIV-seropositiven Kindern wurde ebenfalls diese Testbatterie, zur Früherkennung von HIV-assoziierten Gehirnveränderungen, von der gleichen Arbeitsgruppe erfolgreich durchgeführt.

In Folge dieser Untersuchung konnte man bei einer seronegativen Kinderkombirolgruppe mit zunehmendem Alter einen motorischen Reifungsprozess beschreiben.

Dieser Reifungsprozess erstreckt sich bis ins Erwachsenenalter, was anhand der für eine HIV-seronegative Erwachsenenkombirolgruppe erstellten Werte verzeichnet werden kann (von Giesen et al. 1994).

Die vorliegende Arbeit hat es sich zum Ziel gesetzt, die Altersabhängigkeit bekannter elektrophysiologischer Parameter bei gesunden Kindern und Jugendlichen im Alter von 7 – 18 Jahren zu untersuchen.

1) Durchführbarkeit

Mit den vorliegenden Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass die angewandte elektrophysiologische Testreihe zur Erhebung motorischer Parameter bei Kindern und Jugendlichen zwischen 7 und 18 Jahren verwendet werden kann.

Alle vier Messgrößen (TPF, MRAM, RT und CT) konnten bei den Kindern und Jugendlichen zuverlässig erfasst werden.

Auch für den feinmotorischen Stecktest (Grooved Pegboard Test), der als Vergleich diente, erbrachte die Testreihe für alle Kinder und Jugendliche reproduzierbare Ergebnisse.

2) Altersabhängigkeit

Man kann in der Altersgruppe der 7 – 18 jährigen Kinder und Jugendlichen eine Altersabhängigkeit der elektrophysiologischen Messergebnisse finden.

Es ließ sich feststellen, dass die Frequenzen (Hz) bei TPF und MRAM bei den gesunden Kindern und Jugendlichen mit ansteigendem Alter signifikant schneller werden

Dasselbe kann man anhand der Reaktions- und der Kontraktionszeitmessungen (msec.) erkennen, die mit zunehmendem Alter ebenfalls signifikant schneller werden.

Somit kann bei den 51 untersuchten Kindern und Jugendlichen mit zunehmendem Alter ein motorischer Reifungsprozess gezeigt werden.

Die drei gebildeten Untersuchungsgruppen mit ihrer unterschiedlichen Altersstruktur zeigen jeweils bezogen auf die motorischen Parameter, dass hierbei Tendenzen zu schnelleren motorischen Ausführungen und somit zu einem Reifungsprozess, der das motorische Lernen widerspiegeln könnte, darstellbar sind.

Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass insbesondere die rechte Hand bei 90 % der untersuchten Kinder und Jugendlichen die dominante Hand darstellte.

Daher liegt der Schluss nahe, dass die motorische Reifung besonders rechts darstellbar ist, da die dominante Hand hauptsächlich genutzt und somit auch trainiert wird.

Festzuhalten ist die Tatsache, dass sich im Erwachsenenalter die Durchschnittswerte der linken Hand der meist dominanten rechten Hand annähern, was ein weiterer Beleg für die mit zunehmendem Alter durchgemachte Reifung der motorischen Bahnen sein könnte.

Dies wiederum könnte ein Indiz dafür sein, dass man von einer Plastizität des Gehirns im Kindes- und im Erwachsenenalter sprechen kann.

Der weitere Motoriktest (Grooved Pegboard) zeigte ebenfalls, dass die untersuchten Kinder und Jugendlichen mit ansteigendem Alter signifikant schneller wurden.

3) Beurteilung des Vergleichs innerhalb des Kollektivs der 51 Kinder und Jugendlichen

Die angewandten motorischen Tests, sowohl die elektrophysiologische Testbatterie, als auch der Grooved Pegboard Test konnten deutlich machen, dass bereits im Kindes- und Jugendalter eine motorische Entwicklung und ein Reifungsprozess zu erkennen sind.

a) motorische Parameter

Die elektrophysiologischen Parameter, TPF, MRAM, RT und CT korrelieren mit dem Alter und zeigen eine signifikante Altersabhängigkeit.

Die Frequenzen bei TPF und MRAM sowie die Reaktions- und Kontraktionszeiten (RT und CT) wiesen mit steigendem Lebensalter schnellere Werte auf.

b) Grooved Pegboard Test

Der Grooved Pegboard Test ist ein Geschicklichkeitstest, welcher die motorische Fertigkeit der Finger- und Handmotorik überprüfen kann und dabei vor allem die Feinmotorik testet.

Da bei diesem Test merklich die visuell-motorische-Koordination gefragt ist, lässt sich dieser Stecktest nicht mit den Motorikmesswerten der anderen Testbatterie (s.o.) vergleichen.

Der visuelle Aspekt beim Grooved Pegboard Test stellt bereits ein Unterscheidungskriterium dar. Einen zweiten Unterschied zu der motorischen Testbatterie kann man an der Ausführung des Tests festmachen, der einen viel feineren Teil der motorischen Fähigkeiten anvisiert und damit auf die Feinmotorik der Probanden schaut.

Im Ergebnis korreliert auch der Grooved Pegboard Test signifikant mit dem Alter der Kinder und Jugendlichen.

Somit zeigt dieser Stecktest, dass das motorische Lernen, in Gestalt der visuellen- und feinmotorischen Koordination einen Reifungsprozess zeigt.

Eine Normtabelle von Trites 1989 macht deutlich, dass auch für diesen Parameter der motorischen Kontrolle eine Alterabhängigkeit festzumachen ist.

Die Werte für den Grooved Pegboard Test verbessern sich ab dem 10. Lebensjahr deutlich, verlangsamen sich allerdings mit zunehmendem Alter ab dem 50. Lebensjahr (Trites 1989).

Es ist gelungen, einen signifikanten Zusammenhang zwischen GPT/MRAM sowie GPT/RT herzustellen. Ein signifikanter Nachweis für den Zusammenhang von CT-Werten und Grooved Pegboard Test ist aber fehlgeschlagen.

Es gilt festzuhalten, dass der Grooved Pegboard Test nicht dasselbe misst wie die motorische Testbatterie.

Während der Grooved Pegboard Test zunehmend die Feinmotorik in Verbindung mit der visuellen Koordination überprüft, interpretieren die motorischen Parameter (s.o.) eher eine allgemeine motorische Feinkoordination, die allerdings nicht visuell geprägt ist und spiegeln die Funktion der Basalganglien wie Bewegungsplanung und -ausführung wider.

VI Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse einer Untersuchung an Kindern und Jugendlichen dargestellt, die im Zeitraum von Juli 2003 bis März 2005 in der neurologischen Abteilung des Universitätsklinikums Düsseldorf durchgeführt wurde.

Untersucht wurden 51 gesunde Kinder und Jugendliche im Alter von 7 bis 18 Jahren mit einer Testreihe, die zur Früherkennung von HIV-1-induzierten Erkrankungen des ZNS bei Erwachsenen eingesetzt worden ist.

Für jeden Probanden wurden 1.) die „tremor peak frequency“ (TPF (Hz)), 2.) die „most rapid alternating movements“ (MRAM (Hz)) und 3.) die „most rapid isometric finger extension“ (MRC) bestimmt. Aus letzterer werden die einfache Reaktionszeit (RT (msec.)) und die Kontraktionszeit (CT (msec.)) berechnet.

Außerdem wurden alle Probanden auch mit einem speziell für die Feinmotorik ausgewiesenen Test (Grooved Pegboard Test (msec.)) untersucht.

Es stellte sich heraus, dass die Kinder und Jugendlichen, je jünger diese waren, langsamere Frequenzen bei TPF wie auch bei MRAM und längere Reaktions- und Kontraktionszeiten (RT und CT) aufwiesen als eine Erwachsenengruppe (von Giesen 1994).

Die 51 untersuchten Kinder und Jugendlichen zeigten eine signifikante Korrelation zwischen den motorischen Parametern und steigendem Lebensalter, was als Korrelation zur motorischen Reifung zu interpretieren ist.

Eine weitere Frage war, ob sich diese elektrophysiologischen Messergebnisse auch mit einem anderen motorischen Parameter, dem Grooved Pegboard Test, korrelieren lassen.

Hierbei stellte sich heraus, dass auch dieser Stecktest signifikant mit dem Alter der Kinder und Jugendlichen korreliert und somit von einer feinmotorischen Reifung gesprochen werden kann.

Allerdings bleibt festzustellen, dass die motorische Testbatterie nicht in allen Messbereichen mit dem für die Feinmotorik spezifischen Grooved Pegboard korrelierte, da beide Tests unterschiedliche motorische Fähigkeiten untersuchen.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass die untersuchten motorischen Parameter und der Grooved Pegboard Test altersabhängig sind und die Korrelation mit dem Alter als motorische Reifung interpretiert werden kann.

VII Literaturverzeichnis

A

- 1) Arendt, G., Hefter, H., Elsing, C., Neuen-Jakob, E., Strohmeyer, G., Freund, H.-J.
Neue elektrophysiologische Befunde zur Häufigkeit der Gehirnbeteiligung bei klinisch neurologisch asymptomatischen HIV-Infizierten
Z.EEG-EMG (1989); 20: 280-287
- 2) Arendt, G., Hefter, H., Elsing, C., Strohmeyer, G., Freund, H.-J.
Motor dysfunction in HIV-infected patients without clinically detectable central-nervous deficit
J Neurol (1990); 237: 362-368
- 3) Arendt, G., Hefter, H., Buescher, L., Hilperath, F., Elsing, C., Freund, H.J.
Improvement of motor performance of HIV-positive patients under AZT therapy.
Neurology (1992); 42 (4): 891-896
- 4) Arendt, G., Hefter, H., Neuen-Jakob, E., Wist, S., Kuhlmann, H., Strohmeyer, G., Freund, H.-J.
Electrophysiological motor testing, MRI findings and clinical course in AIDS patients with dementia
J Neurol (1993); 240: 439-445
- 5) Arendt, G., von Giesen, H.-J.
Klinik, Pathogenese und Therapie von Neuro-AIDS
UNI-MED, (2000)
- 6) Asanuma, H., Pavlides, C.,
Neurobiological basis of motor learning in mammals
Neuroreport (1997); 8: R1-R6

B

- 7) Baacke, D.
Die 13- 18-jährigen Jugendlichen.
Eine Einführung in Probleme des Jugendalters. (1979)
- 8) Baur, J.
Zur- Anlage –Umwelt-Kontroverse: Die Entwicklung der Motorik in der frühen Kindheit
In: W.-D. Brettschneider, J. Baur & M. Bräutigam (Red.)
Bewegungswelt von Kindern und Jugendlichen (1989): 74-85; Schorndorf: Hofmann
- 9) Baur, J., Bös, K., Singer, R., Scheid, V.
-Grundlagen und Methoden der motorischen Entwicklungsdiagnostik im Kindesalter-
aus Motorische Entwicklung; ein Handbuch (1994): S. 335-355

C

- 10) Cabeza, R., Nyberg, L.
Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies
J. Cogn. Neurosci. (2000); 12: 1-47

D

- 11) Desmedt, J.E., Brunko, E., Debecker, J.
Maturation of the somatosensory evoked potentials in normal infants and children, with special reference to the early N1 component.
Electroencephalogr Clin Neurophysiol (1976); 40 (1): 43-58

F

- 12) Freund, H.J.
Abnormalities of motor behaviour after cortical lesions in humans.
The nervous system V.
Handbook of Physiology, Bethesda (1987): 763-81

G

- 13) Gabler, H., Röthig, P.
Psychologische Grundfragen der Leibeserziehung und des Sports
In: GRUPPE, O. (Hrsg.): Einführung in die Theorie der Leibeserziehung und des Sports
Schorndorf: (1980): 111-141
- 14) Gandolfo, F., Li, C.S.R., Benda, B.J., Schioppa, C.P., Bizzi, E.
Cortical correlates of learning in monkeys adapting to a new dynamical environment.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA (2000); 97: 2259-2263

H

- 15) Hefter, H., Hömberg, V., Lange, H.W., Freund, H.-J.
Impairment of rapid movement in Huntington's disease
Brain (1987); 110: 585-612
- 16) Hefter, H.
Untersuchungen zur Zeitstruktur willkürlicher Bewegungen von Normalpersonen und Patienten mit motorischen Störungen.
University of Düsseldorf (1991)
- 17) Hefter, H., Arendt, G., Stremmel, W., Freund, H.-J.
Motor impairment in Wilson's disease, I: Slowness of voluntary limb movements.
Acta Neurol Scand (1993); 87 (2): 133-147

L

- 18) Lawrence, D.G.; Kuypers, H.G.
The functional organization of the motor system in the monkey. The effects of lesions of the descending Brain-stem pathways.
Brain (1968); 91 (1): 15-36

M

- 19) Marsden, C.D.
The mysterious motor function of the basal ganglia:
The Robert Wartenberg Lecture
Neurology (1982); 32: 514-539
- 20) Müller, K., Hömberg, V., Lenard, H.-G.
Magnetic stimulation of motor cortex and nerve roots in children. Maturation of cortico-motoneuronal projections.
Electroencephalogr Clin Neurophysiol (1991); 81: 63-70
- 21) Miltner, W.H.R., Weiss, T.
Psychologische und psychobiologische Grundlagen der Verhaltensmedizin.
In Flor, H., Birbaumer, N. and Hahlweg, K. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie,
Band 3: Verhaltensmedizin: Grundlagen und Interventionen, Göttingen (1999)
- 22) Miltner, W.H.R., Weiss, T.
Motorisches Lernen – neuere Erkenntnisse und ihre Bedeutung für die motorische Rehabilitation
Z.f. Physiotherapeuten (2001); 53 (4): 578-588

N

- 23) Noth, J.
Entwicklung neurophysiologischer Parameter der Motorik
aus: Motorische Entwicklung; ein Handbuch (1994): S 93-105

R

- 24) Rioult-Pedotti, M.S., Friedman, D., Donoghue, J.P.,
Learning-induced LTP in neocortex.
Science (2000); 290: 533-536
- 25) Rioult-Pedotti, M.S., Friedman, D., Hess, G., Donoghue, J.P.
Strengthening of horizontal cortical connections following skill learning.
Nature Neurosci. (1998); 1: 230-234

S

- 26) Scheid, V.
Motorische Entwicklung in der mittleren Kindheit.
Vom Schuleintritt bis zum Beginn der Pubertät.
aus: Motorische Entwicklung „Ein Handbuch“ (1987) S. 276-279
- 27) Seitz, R.J.
Motorisches Lernen: Untersuchungen mit der funktionellen Bildgebung
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin (2001); 52 (12): 343-349
- 28) Singer, R.
Biogenetische Einflüsse auf die motorische Entwicklung
In: Baur, J., Bös, K., Singer, R.:
Motorische Entwicklung: ein Handbuch.
Hofmann Schorndorf (1994): 51-71
- 29) Singer, W., von der Malsburg, C.
Principles of cortical network organization
In: P. Rakic, W. Singer (eds.): The neurobiology of neocortex. Dahlem Konferenzen.
Chichester: John Wiley & Sons Ltd., (1988) pp. 69-99
- 30) Strüder, H.K., Kinscherf, R., Disersens, H., Weicker, H.
Physiologie und Pathophysiologie der Basalganglien
- Einfluss auf die Motorik-
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin (2001); 52 (12): 350-360

T

- 31) Trites, R.
Instructions for the Grooved Pegboard Test
32025: (1989); 12: 1-8

V

- 32) von Giesen, H.J., Niehues, T., Reumel, J., Haslinger, B.A., Ndagijimana, J.,
Arendt, G.
Delayed motor learning and psychomotor slowing in HIV-infected children
Neuropediatrics (2003); 34: 177-181
- 33) von Giesen, H.J., Köller, H., Hefter, H., Arendt, G.
Central peripheral nervous system functions are independently disturbed in HIV-1-
infected patients
J Neurol (2002); 249: 754-758
- 34) von Giesen, H.J., Hefter, H., Roick, H., Mauss, S., Arendt, G.
HIV-specific changes in the motor performance of HIV-positive intravenous drug
abusers
J Neurol (1994); 242: 20-25

W

- 35) Winter, R., Roth, K.
Entwicklung motorischer Fähigkeiten
aus: Motorische Entwicklung; ein Handbuch (1994): S. 192-229

VIII Lebenslauf

Oliver Keull

geboren am 09.08.1976 in Solingen

ledig, keine Kinder

deutsch;

katholisch

Schule

08/ 1983 – 07/ 1987 städtische Grundschule Gerberstraße, Solingen

09/ 1987 – 06/ 1996 städtisches Humboldt-Gymnasium, Solingen

06/ 1996 Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst

08/ 1996 – 08/ 1997 Zivildienst in der internistisch / chirurgischen Ambulanz
Klinikum Solingen

Medizinstudium

10/ 1997 Beginn des Medizinstudiums an der HHU – Düsseldorf

09/ 2000 ärztliche Vorprüfung

04/ 2002 1. Staatsexamen

04/ 2004 2. Staatsexamen

05/ 2005 3. Staatsexamen

Praktisches Jahr

04/ 2004 Beginn des Praktischen Jahres im Klinikum Krefeld

1. Terial: Innere Medizin: Gastroenterologie und Nephrologie

2. Terial: Pädiatrie

3. Chirurgie: Unfall-, Visceral- und Kinderchirurgie

05/ 2005 Approbation als Arzt

Wissenschaftliche Tätigkeiten

04/ 2002 Beginn der klinisch-statistisch orientierten Promotionsarbeit im
Institut für Neurologie der HHU – Düsseldorf

Betreuung: Frau Prof. Dr. med. Gabriele Arendt

Titel: Altersabhängigkeit motorischen Lernens bei gesunden
Kindern und Jugendlichen

07/ 2001 – 06/ 2002 angestellt als studentische Hilfskraft im kardiologischen Labor der Klinik für Kardiologie, Pneumologie und Angiologie der HHU – Düsseldorf, Herr Prof. Dr. med. M. Kelm
Arbeitsfeld: Internetrecherchen, Hilfsarbeiten im Laboralltag

04/ 2003 – 06/ 2005 angestellt als studentische Hilfskraft in der Hautklinik der HHU – Düsseldorf
Arbeitsfeld: Organisation der hauseigenen Bibliothek und Literaturrecherchen

ärztliche Tätigkeiten

11/ 2005 angestellt als Assistenzarzt im Johanniter Krankenhaus in Duisburg – Rheinhausen, Abteilung für Innere Medizin, Prof. Dr. med. U. Reinhard

sonstige Interessen

Jugendarbeit: seit 1995 Leiter einer Jugendgruppe der Deutschen Pfadfinderschaft Sankt Georg (im Bund Deutscher Katholischer Jugend);
seit 2003 im Ausbildungsteam der bezirksgruppenleiterschulung für den Bezirk-Bergisch-Land / Diözese Köln

Hobbys: Klettern und Reisen

Altersabhängigkeit motorischen Lernens bei gesunden Kindern und Jugendlichen

Abstract

Ziel:

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel die Altersabhängigkeit motorischen Lernens mit Hilfe einer bekannten motorischen Testbatterie bei 51 gesunden Kindern und Jugendlichen zu untersuchen.

Patienten und Methoden:

Die motorische Testbatterie soll anhand elektrophysiologischer Messungen bestimmte feinmotorische Parameter der Kinder und Jugendlichen herausstellen (tremor peak frequency [TPF], most rapid alternating movements [MRAM], reaction time [RT] und contraction time [CT]).

Die Ergebnisse wurden mit einem anderen speziell für die Feinmotorik ausgewiesenen Test (Grooved Pegboard Test) verglichen.

Ergebnisse:

Die Kinder und Jugendlichen zeigten mit steigendem Alter eine Zunahme der Frequenzen [TPF+MRAM] sowie signifikant schnellere Reaktions- und Kontraktionszeitmessungen [RT+CT].

Die motorische Testbatterie korreliert nicht in allen Messbereichen mit dem für die Feinmotorik spezifischen Grooved Pegboard Test, da beide Tests unterschiedliche motorische Fähigkeiten messen.

Zusammenfassung:

Die untersuchten motorischen Parameter und der Grooved Pegboard Test sind altersabhängig und die Korrelation mit dem Alter kann als motorische Reifung bei den beobachteten Kindern und Jugendlichen interpretiert werden.