

Warum reagieren Ältere langsamer? Eine neurophysiologische Untersuchung

von

Juliana Yordanova^{1,2}, Vasil Kolev^{1,2},
Joachim Hohnsbein¹ und Michael Falkenstein¹

¹ IfADo, Ardeystr. 67, 44139 Dortmund

² Institute of Physiology, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., bl. 23,
1113 Sofia/Bulgarien

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie sollten die Ursache(n) der altersbedingten psychomotorischen Verlangsamung bei einer einfach strukturierten Wahlreaktionsaufgabe im Detail untersucht werden. Insbesondere sollten die Beiträge verschiedener Informationsverarbeitungsprozesse (IVP) zwischen Reiz und Reaktion zu dieser Verlangsamung analysiert werden. Hierzu wurden ereigniskorrelierte Hirnpotenziale (EKP) benutzt, welche einzelne IVP widerspiegeln. EKP wurden bei älteren (ca. 58-jährigen) und jüngeren Probanden (ca. 23-jährigen) während der wiederholten Bearbeitung einer Wahlreaktionsaufgabe mit 4 Alternativen gemessen. Diese Aufgabe wurde gewählt, weil sie keine Ablenkbedingung enthält und kognitiv relativ einfach strukturiert ist. Die Aufgabe wurde in einer visuellen und einer auditorischen Version dargeboten. Während der Bearbeitung der Aufgabe wurde das EEG von 64 Elektroden abgeleitet und daraus EKP berechnet. Es wurden EKP-Korrelate der Reizverarbeitung, der Reaktionswahl und der motorischen Vorbereitung und Programmierung untersucht. Die Verhaltensdaten zeigten wie erwartet eine deutliche Reaktionszeitverlängerung bei den Älteren. Die EKP-Daten zeigten, dass diese Reaktionsverlangsamung weder durch eine Beeinträchtigung der Reizverarbeitung oder der Reaktionswahl bedingt war, sondern durch eine Veränderung der zentralen Reaktionsaktivierung. Interessanterweise zeigte sich bei den Älteren gleichwohl eine leichte Beeinträchtigung der visuellen Reizverarbeitung, die jedoch in der nachfolgenden Stufe

der Reaktionswahl kompensiert wurde. Ältere sind also in der motorischen Aktivierung, jedoch nicht im Denken und kaum in der visuellen Wahrnehmung beeinträchtigt. Zudem können Ältere sogar geringfügige sensorische Defizite kompensieren.

1 Einleitung

Im Alter sind, wie allgemein bekannt, motorische Aktionen verlangsamt. Bei Laboruntersuchungen spiegelt sich diese Alltagsbeobachtung in einer Verlängerung der Reaktionszeiten Älterer bei den verschiedensten Aufgabentypen wider (Salthouse 2000). Um die Ursachen dieser Verlangsamung zu erforschen, ist die zunächst wesentliche Frage, ob bestimmte IVP (sensorische, kognitive oder zentral-motorische) im alternden Gehirn beeinträchtigt sind, oder ob der Verlangsamung eine allgemeine unspezifische Veränderung zugrunde liegt, wie z. B. ein Schwund von Nervenzellen, eine allgemeine Verringerung der Nervenleitungsgeschwindigkeit, eine Verminderung der Vernetzungen im Gehirn oder eine Verringerung der Verarbeitungs-Ressourcen (Kok 2000; Li & Dinse 2002; Reuter-Lorenz 2002).

Traditionell wird verringerte kognitive Kapazität als Hauptdeterminante der Verlangsamung bei Älteren angesehen. Altersabhängige Defizite sind für viele höhere kognitive Funktionen dokumentiert, wie z. B. selektive und geteilte Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und exekutive Kontrolle (z. B. Kok 2000; Cabeza et al. 2002; Falkenstein et al. 2001; Reuter-Lorenz 2002). Es wird auch vermutet, dass höhere kognitive

Prozesse stärker durch Alter beeinträchtigt sind als „niedrige“ Prozesse, wie z. B. sensorische oder motorische Prozesse. Weiterhin wird aufgrund neuerer Resultate vermutet, dass die Beziehung zwischen höheren kognitiven und sensomotorischen Prozessen mit zunehmendem Alter stärker wird (Li & Lindenberger 2002; Li & Dinse 2002). Dennoch bleibt die Frage nach spezifischen vs. allgemeinen Veränderungen bisher unbeantwortet.

Weiterhin ist es unklar, ob altersbedingte kompensatorische Prozesse existieren; z. B. eine Erhöhung der kognitiven Anstrengung, um ein primär bestehendes sensorisches oder motorisches Defizit (Li & Dinse 2002) oder eine verstärkte Aktivierung sensorischer oder motorischer Areale, um bestimmte kognitive Defizite auszugleichen.

In den meisten bisherigen Untersuchungen zur Klärung der Ursachen der altersbedingten Verlangsamung wurden lediglich Daten auf der Verhaltensebene erhoben. Diese sind nur ein integrales Output-Maß und können daher den Anteil perzeptueller, kognitiver und motorischer Prozesse nicht differenzieren.

Zur Lösung dieses Problems bieten sich physiologische Maße an. Zum einen können Methoden der funktionellen Bildgebung zum Tragen kommen. Hier wurden kürzlich Veränderungen der räumlichen Struktur von Aktivierungen im Gehirn bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren festgestellt, was auf eine altersbedingte Veränderung der Netzwerke, die bestimmte Funktionen realisieren, hindeutet (Cabeza et al. 2002; Reuter-Lorenz 2002). Diese Methoden haben jedoch eine schlechte zeitliche Auflösung und können daher die zeitliche Struktur, z. B. die Dauer einzelner IVP, nicht darstellen.

Hierfür bieten sich elektrische Hirnpotenziale an, die sog. Ereigniskorrelierten Hirnpotenziale (EKP). EKP sind im EEG enthalten und können hieraus durch bestimmte Prozeduren, vor allem durch Mittelung auf Ereignisse (Reize, Reaktionen etc.) gewon-

nen werden. Das EKP enthält einzelne Komponenten, welche einzelne IVP widerspiegeln (z. B. Regan 1989). Die Latenz einer bestimmten Komponente zeigt dabei den Zeitbedarf und die Amplitude die Intensität des betreffenden Prozesses an, während die Verteilung auf der Schädeloberfläche Hinweise zur Quelle des Prozesses im Gehirn gibt.

Die kombinierte Anwendung von Verhaltens- und EKP-Daten sollte von daher ideal zur Analyse von Veränderungen der Leistungsgeschwindigkeit im Alter sein, um diejenigen Prozesse zu spezifizieren, die für die Verlangsamung verantwortlich sind.

2 Methoden

2.1 Probanden

Es wurden 25 Probanden (Pbn) untersucht. Sie waren unterteilt in zwei Gruppen: Junge ($n = 13$, 6f, mittleres Alter 22.5 Jahre, $SE = \pm 1.5$), und Ältere ($n = 12$, 6f, mittleres Alter 58.3 Jahre, $SE = \pm 2.1$). Alle Pbn waren gesund; Fehlsichtigkeiten waren durch Sehhilfen korrigiert. Keiner der Pbn war während der Experimente unter Medikation.

2.2 Aufgabe und Reize

Als experimentelle Aufgabe wurde eine 4-Alternativen Wahlreaktionsaufgabe („4-CR“) benutzt. Hierbei wurden vier Buchstaben (A, E, I, und O) in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Insgesamt wurden in jedem Block 120 Reize präsentiert, d. h. 30 für jeden Buchstaben. Auf alle Reize sollte reagiert werden: auf A mit dem linken Mittelfinger, auf E mit dem linken Zeigefinger, auf I mit dem rechten Zeigefinger und auf O mit dem rechten Mittelfinger. Die Reaktionen wurden mit Hilfe einer speziellen Kraftmess-Vorrichtung gemessen, die zusätzlich zu den Reaktionszeiten die Reaktionskraft (mit)registriert.

Die Reize wurden in zwei Modalitäten dargeboten, auditorisch und visuell. Die auditorischen Reize (Dauer 300 ms, Intensität 67 dB SPL) wurden gesprochen und binaural über Kopfhörer dargeboten. Die visuellen

Reize (Dauer 300 ms, Intensität 50 cd/m², Größe 1° horizontal/1.5° vertikal) wurden in der Mitte eines Monitors präsentiert; der Sehabstand betrug 1,5 m.

Das Interstimulus-Intervall variierte zwischen 1440 und 2160 ms (im Mittel 1800 ms). Wenn die Reaktion langsamer als 700 ms war, wurde 1200 ms nach Reizbeginn ein Feedback-Ton dargeboten; diesen hatten die Pbn durch hinreichend schnelles Reagieren zu vermeiden.

Die Aufgabe wurde in drei Sitzungen gegeben, die an aufeinanderfolgenden Tagen lagen. In jeder Sitzung wurden 8 Blöcke mit je 120 Durchgängen durchgeführt, wobei sich visuelle und auditorische Blöcke abwechselten.

2.3 Datenerhebung, -auswertung und statistische Analyse

Die Reaktionszeiten wurden zu dem Zeitpunkt erfasst, wenn die Reaktionskraft 5 N überschritt. Das EEG wurde von 64 Kanälen abgeleitet, welche gleichmäßig über die Schädeldecke verteilt waren (s. Abb. 1).

Neben dem EEG wurde das Elektrookulogramm (EOG) abgeleitet, um Störungen durch Augenbewegungen und Blinzeln kompensieren zu können. (Dies geschah über eine Regressionsmethode; Gratton et al. 1983).

Schließlich wurde das Elektromyogramm (EMG) beider Unterarme gemessen, um frühe peripher-motorische Aktivität erfassen zu können.

Epochen mit Artefakten (Kriterium: mehr als 50 µV in einem Kanal) sowie Fehlerdurchgänge wurden verworfen. Die Daten wurden in den CSD-Modus („current source density“) umgerechnet (Perrin et al. 1989); dies erlaubt eine referenzfreie und räumlich trennscharfe Darstellung (Nunez 1981; Babiloni et al. 1996, 1998).

2.3.1 EKP-Parameter zentralnervöser IVP

Abb. 2 illustriert elektrophysiologische Parameter, welche in der vorliegenden Studie analysiert werden. Diese spiegeln die einzelne IVP, welche zwischen Reiz und Reaktion stattfinden, direkt oder indirekt wider.

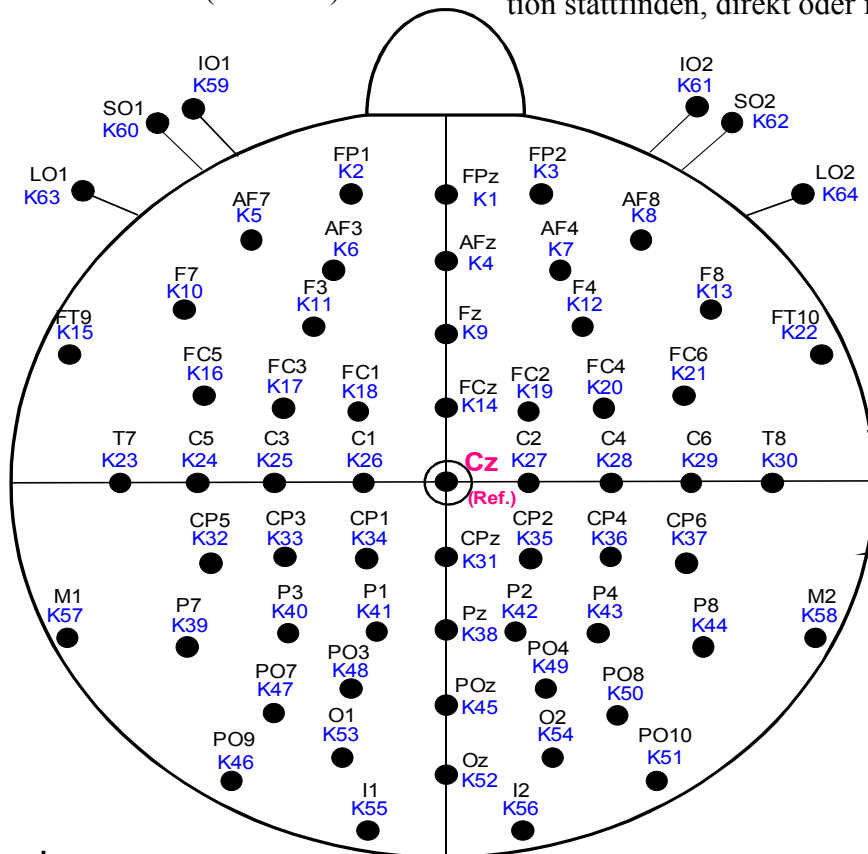


Abb. 1: Elektrodenanordnung

2.3.2 Reizverarbeitung

Die ersten IVP können in der Stufe der Reizverarbeitung zusammengefasst werden. Hierbei handelt es sich um alle reizbezogenen Prozesse von der Detektion einer Veränderung über die Erkennung relevanter Eigenschaften im sensorischen Umfeld bis hin zur Erkennung des jeweiligen Buchstaben. Frühe Stufen der Reizverarbeitung werden durch die P1- und die N1-Komponente des EKP direkt widerspiegelt (z. B. Regan 1989; Gazzaniga et al. 1998) (Abb. 2a, links). Durch die Messung von Latenzen und Amplituden dieser Komponenten ist es möglich, Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und Intensität dieser Reizverarbeitungsprozesse zwischen Älteren und Jüngeren direkt zu messen und sie daher von anderen, späteren Unterschieden zu trennen.

2.3.3 Sensomotorische Integration

Wenn auf einen Reiz eine Reaktion zu geben ist, werden reaktionsbezogene IVP unmittelbar nach oder sogar parallel zur Reizerkennung aktiviert. Ein Parameter, der die Initiierung eines reaktionsbezogenen Prozesses anzeigt, ist das *Lateralisierte Bereit-*

schaftspotenzial (Lateralized Readiness Potential, LRP (Coles 1989)). Vor der Reaktions-Ausführung werden spezifische Regionen der primären motorischen Hirnrinde ("M1") aktiviert, die im EKP auf der Schädeloberfläche in der Nähe des Scheitels zu sehen sind, und zwar auf der Gegenseite zur reagierenden Hand. Auf der gegenüberliegenden Seite, also der Seite der reagierenden Hand, ist eine solche negative Aktivierung in der Regel nicht zu sehen. Das LRP ist die Differenz zwischen den M1-Aktivitäten auf der Gegenseite und der gleichen Seite, relativ zur Reaktionshand. Der Beginn dieser Differenz, also das LRP, gibt die Zeit wieder, wenn eine Entscheidung für eine Reaktion im Gehirn gefallen ist und daher eine bestimmte Reaktion aktiviert wird.

In unserer Studie wurde der Beginn des LRP also dazu benutzt, um einen Einfluss des Alters (oder der Reizmodalität) auf den Prozess der Entscheidung für eine Reaktion ("Reaktionsdetermination") zu analysieren. Der Beginn des LRP wurde definiert als derjenige Zeitpunkt, an dem eine statistisch signifikante Abweichung zwischen den EKP bei C3 und C4 detektiert wurde.

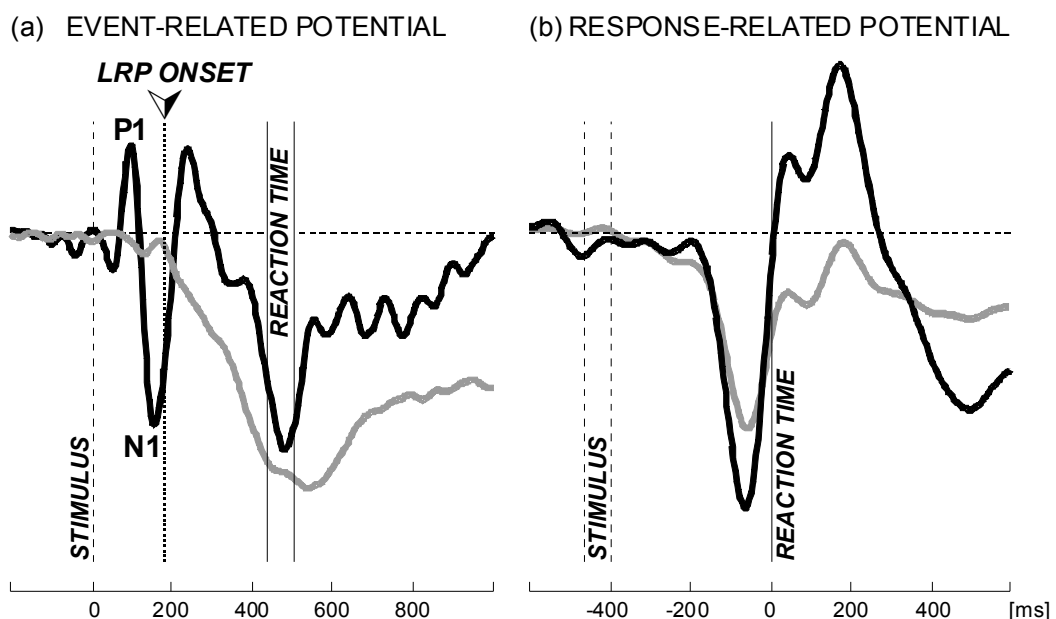


Abb. 2: Schema der analysierten EKP-Parameter in (a) reizbezogen gemittelten EKP (event-related potentials, ERPs) und (b) reaktionsbezogen gemittelten EKP (response-related potentials, RRP). Dicke Linien zeigen originale EKP, dünne Linien das LRP (lateralized readiness potential). Es sind Indizes der Reizverarbeitung (P1, N1), der sensomotorischen Integration (LRP-Beginn) und der motorischen Aktivität (RRP) zu sehen.

Dieser Prozess der Reaktionsdetermination kann auch als sensomotorische Integration bezeichnet werden.

2.3.4 Motorische Verarbeitung

Abb. 2a zeigt, dass reizbezogenes Mitteln reaktionsbezogene/motorische Potenziale nicht gut darstellen kann, weil die RTs schwanken und sich daher reaktionsbezogene EKP in der reizbezogenen Mittelung verwischen. Um reaktionsbezogene/motorische Potenziale sauber darzustellen, muss man reaktionsbezogen mitteln. Wie in Abb. 2b zu sehen ist, hebt diese Prozedur reaktionsbezogene/motorische Potenziale (RRP) scharf und deutlich hervor, während die in Abb. 2a deutlichen sensorischen Potenziale (N1/P2) völlig verwischt und nicht mehr sichtbar sind. Um reaktionsbezogene/motorische Potenziale zwischen Älteren und Jüngeren zu vergleichen, wurden RRP analysiert und zwar an den relevanten Schädel-Positionen (über den beiden primären Motor-Arealen, M1).

Die statistische Auswertung von Verhaltens- und EKP-Daten erfolgte durch Varianzanalyse; bedeutsame Ergebnisse (Wahrscheinlichkeit: $p < .05$) werden im Folgenden als signifikant beschrieben, schwächere Ergebnisse ($p < .1$) als Trend.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Verhalten

Abb. 3 zeigt die mittleren Reaktionszeiten (RT, reaction time) für Ältere und Junge für auditorische und visuelle Aufgaben. Die RT waren signifikant länger für die Älteren (537 ms) als für die Jüngeren (475 ms). Diese RT-Verzögerung war nach visuellen Reizen etwas stärker als nach auditorischen Reizen.

Die Fehlerrate betrug im Mittel 4.8 % und zeigte keinen Gruppenunterschied (5.0 vs. 4.8 %). Die annähernd gleiche Verzögerung für beide Reizmodalitäten zeigt bereits, dass

der Hauptanteil der Verlangsamung bei Älteren durch ein modalitätsunabhängiges Defizit bedingt sein muss. Daneben scheint es auch noch ein modalitätsspezifisches Defizit zu geben. Über andere als sensorische Einflüsse kann die RT keine Auskunft geben.

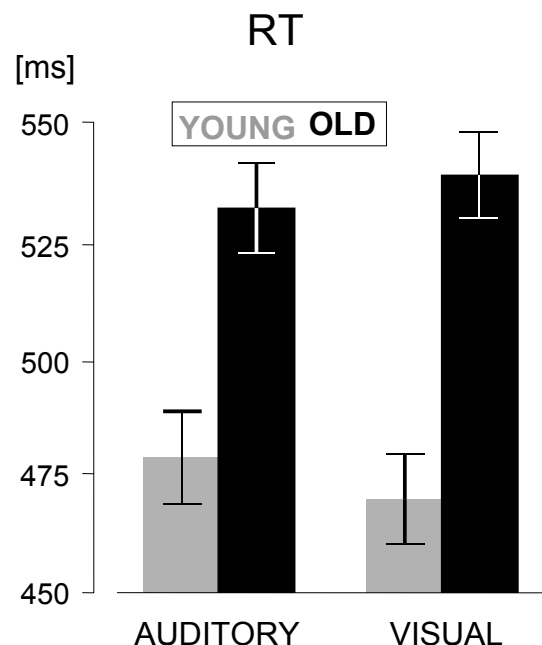


Abb. 3: Mittlere Reaktionszeiten (RT) der jungen und älteren Versuchspersonen in der auditorischen und der visuellen Aufgabe

3.2 EKP

Reizverarbeitung

Abb. 4 zeigt die frühen Komponenten der reizbezogen gemittelten EKP über den modalitätsspezifischen sensorischen Arealen – über der Schläfenregion (“temporal”, T7) für die auditorische Aufgabe und über der Hinterhauptregion (“okzipital”, O2) für die visuelle Aufgabe. Die P1- und N1-Komponenten zeigten maximale Aktivität beidseits temporal für auditorische und beidseits okzipital für visuelle Reize. Die statistischen Analysen wurden separat für auditorische und visuelle EKP an den temporalen bzw. okzipitalen Positionen durchgeführt, d. h. für die Positionen, an denen die P1/N1 jeweils maximal für die jeweilige Modalität ist.

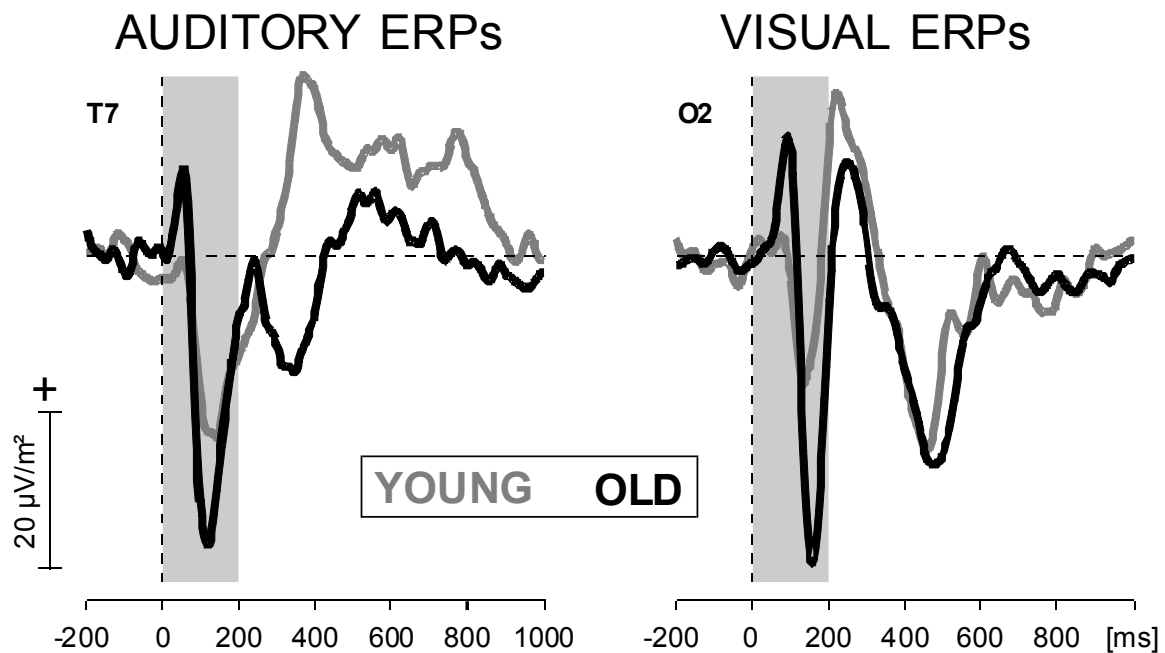


Abb. 4: Gruppenmittel der EKP der auditorischen und der visuellen Aufgabe an modalitätsspezifischen Elektrodenpositionen bei Älteren und Jungen. Die schattierten Areale kennzeichnen den Latenzbereich der analysierten Komponenten, P1 und N1.

Wie in Abb. 4 zu sehen ist, zeigen sich erhebliche altersabhängige Unterschiede für die P1/N1:

- (1) Die Amplitude der frühen EKP-Komponenten war signifikant *größer* bei den Älteren als bei den Jüngeren.
- (2) Die entscheidende Frage war jedoch die nach einer Verlangsamung von Reizverarbeitungsprozessen, soweit sie sich in P1/N1 widerspiegeln. In Übereinstimmung mit früheren Studien (s. Amedeo & Diaz 1998) waren die Latenzen der P1 und N1 für die auditorische Aufgabe nicht unterschiedlich für die beiden Altersgruppen. Jedoch war die Latenz der P1 der visuellen Aufgabe bei den Älteren (87 ms) signifikant länger als bei den Jüngeren (72 ms). Ein ähnlicher Effekt zeigte sich für die visuelle N1-Komponente (152 vs. 140 ms), allerdings nur als Trend.

Es kann daher zur Reizverarbeitung in unserer Wahlreaktionsaufgabe, insoweit sie durch die N1/P1 angezeigt wird, Folgendes gesagt werden:

- (1) Alter verzögert frühe perzeptuelle Prozesse, nach visuellen, nicht jedoch nach auditorischen Reizen, und
- (2) Alter bewirkt eine modalitäts-unspezifische Verstärkung der frühen Verarbeitung (Kok 2000). Indessen, trotz des Fehlens einer Verzögerung der Reizverarbeitung nach auditorischen Reizen, sind die RT bei Älteren deutlich langsamer als bei Jüngeren. Auch die 15 ms Verzögerung der visuellen Reizverarbeitung sind viel geringer als die beobachtete altersbedingte Reaktionsverzögerung nach visuellen Reizen. Daher kann man schließen, dass die altersbedingte Reaktionsverzögerung nicht (nur) durch Defizite in der Reizverarbeitung erklärt werden kann.

3.3 Sensomotorische Integration

In Abb. 5 sind reizbezogen gemittelte EKP für Ältere und Junge aufgetragen. Es zeigt sich für beide Modalitäten zwar eine starke Zunahme der LRP-Amplitude mit dem Alter und eine Verlängerung seiner Dauer, auf die später noch eingegangen wird, jedoch kein signifikanter Altersunterschied im Beginn des LRP.

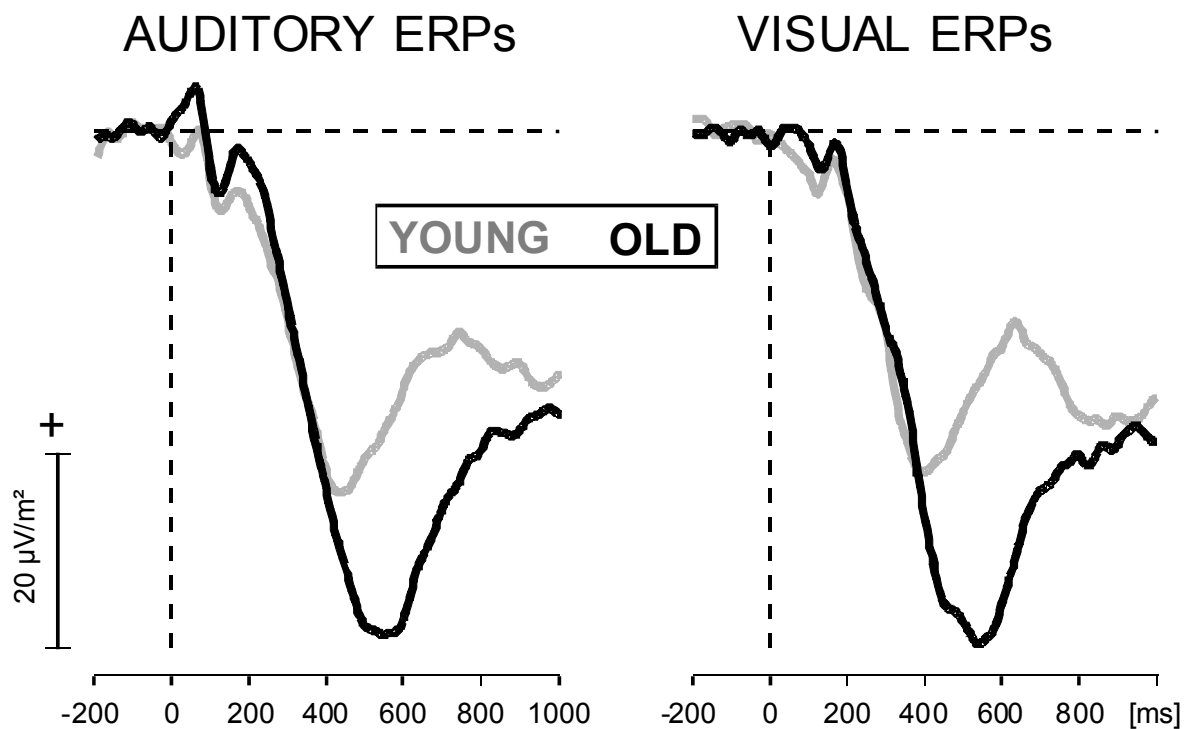


Abb. 5: Gruppenmittel der LRPs der auditorischen und der visuellen Aufgabe bei Älteren und Jungen.

Dies bedeutet, dass die sensomotorische Integration in unserer Aufgabe, also die Zuordnung einer bestimmten Reaktion zu einem bestimmten Reiz, durch den Faktor Alter nicht signifikant verzögert wird, so dass Ältere genauso schnell wie Junge die Aktivierung der richtigen Reaktion beginnen können. Zieht man die gerade erwähnte leichte Verzögerung der visuellen Reizverarbeitung in Betracht, so zeigt sich des Weiteren, dass die Älteren die sensomotorische Integration nach visuellen Reizen sogar beschleunigt haben, um das leichte sensorische Defizit zu kompensieren. Dies bedeutet, dass Kompensation stattgefunden haben muss, um die Reaktion zu beschleunigen. Dieser Befund stützt die Annahme, dass es im Alter kompensatorische Netzwerke gibt (Cabeza et al. 2002; Reuter-Lorenz 2002).

3.4 Motorik-bezogene Prozesse

Abb. 6 zeigt die reaktionsbezogen gemittelten EKP ("RRP") über der motorischen Hirnrinde gegenüber der reagierenden Hand. Es zeigt sich, dass sich die RRP der Älteren deutlich von denen der Jüngeren unterscheiden: sie sind größer und dauern länger. Dies stimmt im Wesentlichen mit den LRP-

Befunden bei der reizbezogenen Mittelung (Abb. 5) überein. Zudem beginnt das RRP bei den Älteren früher relativ zur Reaktion als bei den Jungen. Signifikante altersbedingte Amplituden-Unterschiede wurden sowohl für den Gipfelwert des RRP wie für einen Flächenwert festgestellt.

Diese Resultate zeigen, dass es nach Beginn der Reaktions-Aktivierung für die Älteren länger als für die Jungen dauert, die Reaktion (Tastendruck) tatsächlich auszuführen. Für die beiden Modalitäten wurde exakt die gleiche altersbedingte RRP-Veränderung beobachtet. Dies zeigt, dass die altersbedingte Veränderung der motorischen Verarbeitung, wie erwartet, modalitätsunabhängig ist.

Abb. 6 zeigt außerdem die elektromyografische Aktivität (EMG), welche von den aktiven Unterarm-Muskeln abgeleitet wurde. Es zeigt sich keinerlei altersbedingter Unterschied im EMG. (Auch die Reaktionskraft-Messungen zeigten keinerlei Altersunterschied.) Dies bedeutet, dass Differenzen der Aktivierung über den motorischen Hirnarealen nicht durch altersbedingte Unterschiede in der Reaktionskraft, -stärke o. ä. Bewe-

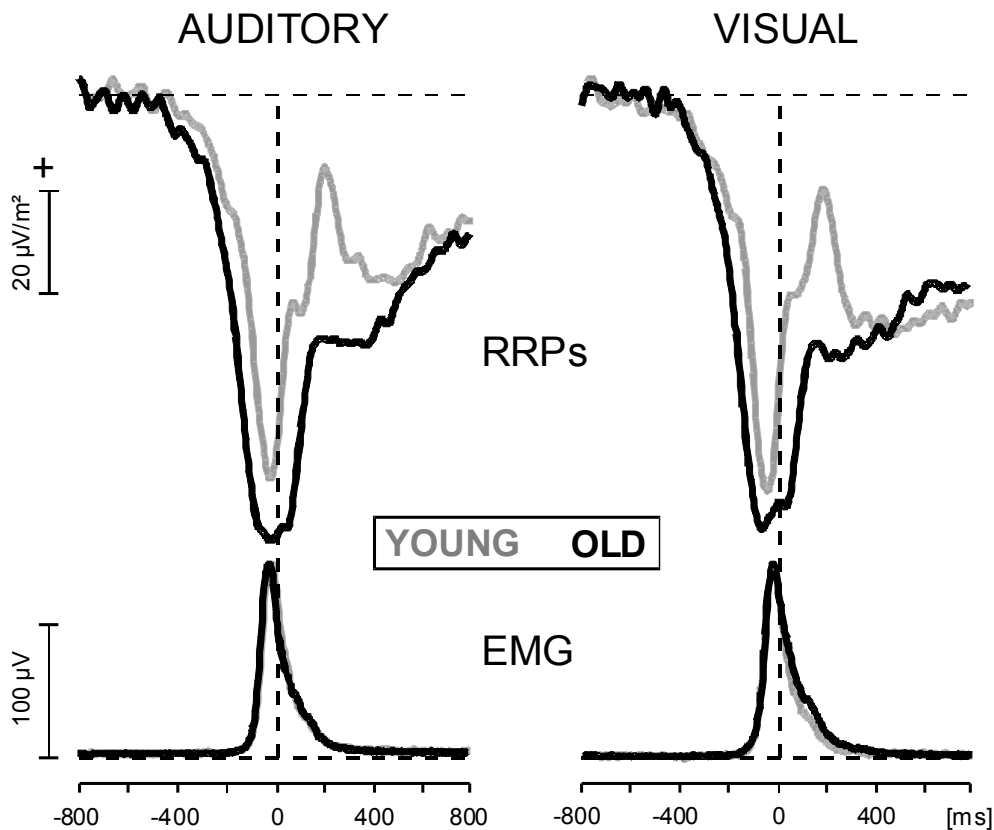


Abb. 6: Gruppenmittel der reaktionsbezogenen EKP (RRP) über den motorischen Hirnarealen gegenüber der reagierenden Hand. Im unteren Bild wird die Aktivität der aktiven Muskeln mit dem Elektromyogramm (EMG) gezeigt.

gungsparameter bedingt sein können, da diese für die Gruppen vollkommen gleich sind.

Die Interpretation dieser RRP-Befunde geht dahin, dass Ältere eine längere und stärkere Aktivierung des kontralateralen motorischen Hirnrindenareals benötigen als die Jüngeren, um die gleiche offene Reaktion zu realisieren. Dieses elektrophysiologische Resultat stimmt gut überein mit Ergebnissen aus der funktionellen Bildgebung, die zeigen, dass bei Älteren der kontralaterale motorische Kortex im Vergleich zu Jungen zusätzlich aktiviert ist (Mattay et al. 2002). Die Überaktivierung bei Älteren könnte durch höhere Schwellen der motorischen Neurone bedingt sein; die Ursache dieser Schwellenerhöhung könnte in einer generellen Abschwächung der Überleitung vom Zwischenhirn zur motorischen Hirnrinde liegen (z. B. Volkow et al. 1998) oder in einer Störung übergeordneter Kontrollmechanismen, sog. "exekutiver Funktionen" (Falkenstein et al. 2001; Li &

Lindenberger 2002). Im Bezug auf die Ursache der altersbedingten Reaktionszeitverlängerung ergibt sich, dass diese Verlängerung im Wesentlichen durch die zusätzliche Zeit für die zusätzliche motorische Aktivierung bei Älteren bedingt ist.

4 Schlussfolgerungen

- (1) In einer 4-Alternativen-Wahlreaktionsaufgabe ohne Ablenkinformation sind die Reaktionszeiten (RT) bei Älteren im Vergleich zu Jungen verlängert.
- (2) Diese Verlangsamung kann nicht durch Verzögerungen der Reizverarbeitung oder der sensomotorischen Integration (Reaktionswahl) erklärt werden.
- (3) Die Verlangsamung ist hingegen sehr wahrscheinlich verursacht durch einer Veränderung der zentralen motorischen Aktivierung bei den Älteren.

5 Literatur

- Amenedo E, Diaz F (1998) Aging-related changes in processing of non-target and target stimuli during an auditory oddball task. *Biol Psychol* 48: 235-267.
- Babiloni F, Babiloni C, Carducci F, Fattorini L, Onorati P, Urbano A (1996) Spline Laplacian estimate of EEG potentials over a realistic magnetic resonance-constructed scalp surface model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 98: 363-373.
- Babiloni F, Carducci F, Babiloni C, Urbano A (1998) Improved realistic Laplacian estimate of highly-sampled EEG potentials by regularization techniques. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 106: 336-343.
- Cabeza R, Anderson ND, Kester J, McIntosh AR (2002) Aging gracefully: Compensatory brain activity in high-performing older adults. *NeuroImage* 17: 1394-1402.
- Coles MG (1989) Modern mind-brain reading: psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology* 26: 251-269.
- Falkenstein M, Hoormann J, Hohnsbein J (2001) Changes of error-related ERPs with age. *Exp Brain Res* 138: 258-262.
- Gazzaniga MS, Ivry RB, Mangun GR (1998) *Cognitive neuroscience: the biology of the mind*. New York: WW Norton.
- Gratton G, Coles MGH, Donchin E (1983) A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 55: 468-484.
- Kok A (2000) Age-related changes in involuntary and voluntary attention as reflected in components of the event-related potential (ERP). *Biol Psychol* 54: 107-143.
- Li KZH, Lindenberger U (2002) Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neurosci Biobehav Rev* 26: 777-783.
- Li SC, Dinse HR (2002) Aging of the brain, sensorimotor, and cognitive processes. *Neurosci Biobehav Rev* 26: 729-732.
- Mattay VS, Fera F, Tessitore A, Hariri AR, Das S, Callicott JH, Weinberger DR (2002) Neurophysiological correlates of age-related changes in human motor function. *Neurology* 58: 630-635.
- Nunez PL (1981) *Electric fields of the brain: The neurophysics of EEG*. New York: Oxford University Press.
- Perrin F, Pernier J, Bertrand O, Echallier JF (1989) Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 72: 184-187 (Ibid. 1990, 76: 565).
- Regan D (1989) *Human brain electrophysiology. Evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine*. Amsterdam: Elsevier.
- Reuter-Lorenz P (2002) New visions of the aging mind and brain. *Trends Cogn Sci* 6: 394-400.
- Salthouse TA (2000) Aging and measures of processing speed. *Biol Psychol* 54: 35-54.
- Volkow ND, Gur RC, Wang GJ, Fowler JS, Moberg PJ, Ding YS, Hitzemann R, Smith G, Logan J (1998) Association between decline in brain dopamine activity with age and cognitive and motor impairment in healthy individuals. *Am J Psychiatry* 155: 344-349.

ISBN 3-9808342-1-2

Alle Rechte vorbehalten.

© 2003 *IfADo*

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund
Tel.: 0231/1084-0
Fax: 0231/1084-308
<http://www.ifado.de>

Druck: Koffler bitprint, Dortmund

Printed in Germany

Vorwort

Der hiermit vorgelegte Jahresband 2003/2004 von „Arbeitsphysiologie heute“ hat sich die Aufgabe gestellt, Grundlagen und Anwendungsaspekte aus dem Bereich der Neurophysiologie, wie sie im *IfADo* betrieben werden, zusammenzustellen und sichtbar zu machen.

Dies geschieht auf dem Hintergrund von Veränderungen im Kompetenzprofil des Instituts, die sich derzeit abzeichnen. Die klassischen Organsysteme der Arbeitsphysiologie sind das Herz-Kreislauf- und das Muskel-Skelett-System, die für die Beurteilung körperlicher Arbeit von ausschlaggebender Bedeutung sind. Mit dem Abbau physischer Belastungen treten nun Reaktionen in den Vordergrund, die durch neue Belastungsprofile hervorgerufen und/oder nur durch verfeinerte physiologische und biochemische Analysen nachweisbar sind. In diesem Zusammenhang gewinnt die Physiologie des zentralen Nervensystems für das Institut eine zentrale Position als Mittler zwischen subtilen Belastungswirkungen unterschiedlicher Art und körperlichen Beschwerden oder Erkrankungen. Diese Entwicklungslinien wurden auch anlässlich der Evaluation des Instituts durch den Senat der WGL zu Beginn des Jahres 2003 deutlich gemacht.

Der vorliegende 5. Band von „Arbeitsphysiologie heute“ enthält fachübergreifend Beiträge aus unterschiedlichen Projektgruppen, die sich mit unterschiedlichen neurophysiologischen und neurotoxikologischen Aspekten befasst. Die Auswahl der Beiträge des vorgelegten Bandes soll damit zeigen, dass auch in Zukunft dem hier umschriebenen Felde fachübergreifend neue Akzente zu setzen sind.

Dortmund, im Herbst 2003

Die Institutsleitung des *IfADo*