

R. T. Krampe · M. A. Rapp · A. Bondar · P. B. Baltes
Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin

Selektion, Optimierung und Kompensation in Doppelaufgaben

Zusammenfassung

Wir diskutieren Forschungsergebnisse zur Allokation von kognitiven Ressourcen bei simultaner Ausführung sensomotorischer und kognitiver Aufgaben. Aus entwicklungspsychologischer und klinischer Perspektive stehen dabei 3 Aspekte im Vordergrund: (1) die Unterscheidung zwischen der Verfügbarkeit und der Verwendung kognitiver Ressourcen, (2) die ökologische Relevanz kognitiver und motorischer Anforderungen in unterschiedlichen Lebensaltern und (3) die Grenzen und Möglichkeiten individueller Adaptation an Mehrfachanforderungen.

Im Rahmen der Theorie der selektiven Optimierung mit Kompensation lassen sich diese Aspekte operationalisieren. Im Mittelpunkt entsprechender Studien stehen zum einen Prozesse der adaptiven Ressourcenallokation im Sinne einer im Alter notwendigen Selektion vor dem Hintergrund eingeschränkter Ressourcen und zum anderen Prozesse von Kompensation für Einbußen bei nachlassender Funktionalität.

Die Befunde zeigen, dass im Alter ein zunehmender Anteil der kognitiven Ressourcen in die Koordination des Körpers investiert wird. Die Untersuchung von Alzheimer-Patienten verspricht, einen Beitrag zur Aufklärung des erhöhten Sturzrisikos dieser Personengruppen zu leisten. Adaptive Ressourcenallokation ist ein genuines Beispiel intelligenten Verhaltens, welches bei der Konzeption psychometrischer Intelligenztests wenig berücksichtigt wird.

Schlüsselwörter

Gleichgewicht · Gehen · Demenz vom Alzheimer-Typ · Intelligenz · Exekutive Kontrolle

Zusammenspiel kognitiver und sensomotorischer Funktionen

Das Alltagsleben enthält eine Vielzahl von Situationen, in denen multiple sensorische Stimuli für motorisches Verhalten und simultane geistige Anforderungen koordiniert werden müssen: Beispiele sind der Versuch, beim Überqueren einer Straße eine Einkaufsliste zu memorieren, oder das Halten des Gleichgewichts in einem schwankenden öffentlichen Verkehrsmittel, während man versucht, die Zeitung zu lesen.

Doppelaufgabenparadigma und -kosten

In der experimentellen Psychologie existiert eine lange Forschungstradition, die Effekte bei der simultanen Ausführung von in der Regel zwei Aufgaben untersucht. Dabei kommt das „Doppelaufgabenparadigma“ zur Anwendung. Dabei müssen die Versuchspersonen meist eine eher kognitive Aufgabe (etwa das Memorieren von Wortlisten) und eine eher sensomotorische Aufgabe (etwa Fingertapping oder visuo-motorisches Tracking) gleichzeitig ausführen.

Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei die sogenannten „Doppelaufgabenkosten“ („dual task costs“, DTC). Diese beschreiben den Leistungsverlust in einer Aufgabe (im Sinne von Einbußen an Genauigkeit oder Geschwindigkeit), der durch die simultane Ausführung der jeweils anderen Aufgabe bewirkt wird. Doppelaufgabenkosten werden häufig als relative Kosten ausgedrückt, d. h. als prozentuale Performanzeinbußen im Vergleich zur alleinigen Ausführung derselben Aufgabe.

Alltagsbeobachtungen in Situationen wie den eingangs beschriebenen – ebenso wie experimentelle Befunde [43] – verweisen auf Grenzen im Zusammenspiel von Kognition und Sensomotorik. Es gibt Hinweise aus altersvergleichen Untersuchungen [3, 41], dass sich diese Grenzen im späteren Erwachsenenalter deutlicher bemerkbar machen. Das heißt: Wenn man älter wird, geht die Leistung in einer Aufgabe zunehmend stärker zurück, wenn gleichzeitig eine andere Aufgabe durchgeführt werden soll. Dieser Rückgang betrifft meist beide Aufgaben.

Ressourcenpool

Eine mögliche Erklärung für diese Phänomene ist, dass alle kognitiv-motorischen Anforderungen aus einem gemeinsamen Pool genereller kognitiver Ressourcen gespeist werden (z. B. die Aufmerksamkeitskapazität), sodass bei der simultanen Ausführung zweier Aufgaben die Grenzen der verfügbaren Ressourcen zwangsläufig schneller erreicht werden.

© Springer-Verlag 2003

Ressourcenallokation zwischen sensomotorischen und kognitiven Funktionen in Doppelaufgaben: Selektion, Optimierung und Kompensation. Dieser Artikel basiert auf einem Beitrag von Paul B. Baltes zu einem wissenschaftlichen Symposium (Perspektiven der Psychiatrie) anlässlich der Emeritierung von Professor Dr. H. Helmchen, Berlin, 31. März 2000.

Dr. phil. R. T. Krampe
Max Planck Institut für Bildungsforschung,
Lentzeallee 94, 14193 Berlin
E-Mail: krampe@mpib-berlin.mpg.de

R. T. Krampe · M. A. Rapp · A. Bondar
P. B. Baltes

Allocation of cognitive resources during the simultaneous performance of cognitive and sensorimotor tasks

Summary

We review research on the allocation of cognitive resources during the simultaneous performance of cognitive and sensorimotor tasks. From the developmental and clinical perspectives, we emphasize: (1) the distinction between the availability and the allocation of resources, (2) lifespan changes in relation to the environmental validity of sensorimotor functions, and (3) the potentials and limitations for an individuals' adaptations to multi-task constraints.

These aspects can be operationalized within the framework of selection, optimization, and compensation (SOC). Related studies focus on older individuals' selective resource allocation and compensatory processes as adaptive means in the context of reduced resources and decreased sensorimotor functioning. Results show that older adults must invest increasing amounts of their cognitive resources into the coordination of bodily functions such as balance and gait. SOC research on Alzheimer's patients provides new insights into the increased risks of falling. We argue that adaptive resource allocation in everyday sensorimotor performance is an instance of intelligent behavior that is insufficiently represented in extant psychometric tests.

Keywords

Balance · Gait · Alzheimer disease · Intelligence · Executive control

Übersicht

Interindividuelle Unterschiede in der Größe des Ressourcenpotenzials, insbesondere deren Veränderung über die Lebensspanne, bieten in diesem Zusammenhang eine Erklärung für höhere Doppelaufgabenkosten bei älteren Erwachsenen. Ein Indikator für die generellen kognitiven Ressourcen sind dabei Maße, die Aspekte der sogenannten kognitiven Mechanik [9, 12] erfassen, wie

- ▶ psychometrische Tests fluider Intelligenz,
- ▶ die Reaktionszeit oder
- ▶ die Geschwindigkeit des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis.

Die Beziehung zwischen dem Alter und der Effektivität solcher Funktionen stellt über die Lebensspanne betrachtet eine umgekehrte U-Funktion dar. Während sich vom Kleinkind- bis zum Jugendalter eine deutliche Aufwärtsentwicklung zeigt, sind bei älteren Erwachsenen (besonders nach der 7. Lebensdekade) beträchtliche Rückgänge nachweisbar [33, 35, 37].

Die Annäherung an das Zusammenspiel von Sensorik und Kognition unter der Annahme eines gemeinsamen Pools kognitiver Ressourcen ist auch aus neurophysiologischer Sicht durchaus plausibel: Verschiedene Studien haben gezeigt, dass selbst hochautomatisierte Programme motorischer Abläufe zu einem gewissen Anteil der Willkürmotorik unterliegen [45, 49]. Insbesondere die Koordination komplexer motorischer Aufgaben erfordert kortikale Informationsintegrationsprozesse, wie etwa zwischen visuellem und supplementär motorischem Kortex bei der Koordination des Gehens und des Gleichgewichts [17]. Doppelaufgabenexperimente legen nahe, dass das Aufrechterhalten eines stabilen Gleichgewichts oder die Restabilisierung nach induzierten Schwankungen (Perturbationen) mit einem erhöhten Bedarf an Aufmerksamkeitsressourcen einhergeht [15, 40, 48].

Das Zusammenspiel von sensorischen und kognitiven Funktionen ist jedoch in entsprechenden Studien konzeptuell unterspezifiziert. Dies betrifft insbesondere die Ursachen für die beobachteten höheren Doppelaufgabenkosten bei älteren Menschen, wenn sie simultan motorische und kognitive Aufgaben ausführen. Eine mögliche Erklärung

wäre, dass ältere Menschen vermehrt kognitive Ressourcen für die Bewältigung sensorischer Anforderungen benötigen.

Berliner Altersstudie (BASE)

Hinweise auf derartige Veränderungen im Zusammenspiel der Sensorik bei kognitiven Funktionen im späteren Erwachsenenalter liefern Ergebnisse der Berliner Altersstudie (BASE) [11, 26]. In der repräsentativen BASE-Stichprobe von Erwachsenen im Alter von 70–105 Jahren wurde ein überraschend hoher korrelativer Zusammenhang gefunden zwischen den beiden Konstrukten

- ▶ kognitive Leistungsfähigkeit (gemessen durch psychometrische Maße von Denkfähigkeit, Gedächtnis, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Wissen und Wortflüssigkeit) und
- ▶ Sensorik (Sehschärfe, Gehör und Gleichgewicht) [34].

Erstaunlicherweise konnten die sensorischen Maße fast die gesamte altersbezogene Varianz in der kognitiven Leistungsfähigkeit aufklären.

Die korrelative Natur dieser Befunde lässt zumindest die Vermutung zu, dass im höheren Erwachsenenalter gemeinsame Ursachen für den Abbau in beiden Funktionsbereichen verantwortlich sind [34]. Ein Beispiel wäre die Annahme einer allgemeinen und alle kognitiven Funktionen betreffenden Gehirnalterung (brain aging). Auf jeden Fall legen die beschriebenen Befunde die Annahme nahe, dass sowohl sensorische als auch kognitive Funktionen im höheren Erwachsenenalter durch eine Reduktion verfügbarer Ressourcen eingeschränkt sind.

Frühere Befunde und Konzeptionen

Die vorliegenden empirischen Untersuchungen und die entwickelten Konzeptionen vernachlässigen aber bestimmte Aspekte, die sowohl aus entwicklungspsychologischer als auch aus klinischer Perspektive von entscheidender Bedeutung sind. So stellt sich z. B. nicht nur die Frage, ob das Altern zu einer Reduktion der kognitiven Reserven bzw. Ressourcen im Sinne eines Plastizitätsverlustes [47] führt, sondern auch die Frage, wie

die verfügbaren Ressourcen auf die verschiedenen Anforderungen alloziert (verteilt) werden. Dabei ist von besonderem Interesse, ob diese Ressourcenallokation ein Kontrollprozess ist, der zu bestimmten Teilen der willkürlichen oder sogar strategischen Kontrolle des Individuums unterliegt.

Exekutive Funktionen und ökologische Relevanz

In der kognitiven Psychologie und der Neuropsychologie werden entsprechende Überlegungen mit der Annahme einer speziellen, exekutiven Kontrollinstanz verbunden, deren neuronales Substrat im dorsolateralen, präfrontalen Kortex vermutet wird [25]. Unter exekutiven Funktionen werden die Kontrolle, das Planen, die Sequenzierung der Abfolge und die Durchführung zielgerichteter Aktivität verstanden [20].

Im Kontext unserer Fragestellungen ergibt sich daraus die Möglichkeit, dass sich im späteren Erwachsenenalter nicht nur das Ausmaß der verfügbaren Ressourcen ändert, sondern auch die Effektivität, mit der diese Ressourcen auf die momentanen Anforderungen verteilt (alloziert) werden [18].

Ein weiterer Aspekt, der bisher zu wenig Beachtung gefunden hat, ist die ökologische Relevanz der spezifischen kognitiven und sensomotorischen Anforderungen und ihrer Kombinationen. Menschen verschiedener Altersgruppen leben in unterschiedlichen Ökologien, und ihr spezifisches biologisches und behaviorales Funktionsprofil erfordert unterschiedliche Adaptationsprozesse. So sind das Risiko und die Konsequenzen eines Sturzes für eine ältere Person völlig andere als für ein das Laufen erlernendes Kleinkind oder einen jungen Erwachsenen.

Konsequenterweise erwarten wir, dass sich die Anforderungen an die optimale Ressourcenallokation zusammen mit entsprechenden Prioritäten und Strategien mit dem Lebensalter deutlich ändern. Derartige Fragestellungen lassen sich mit den Methoden der psychometrischen Intelligenzforschung und den bisher in Doppelaufgabenparadigmen verwendeten Laboraufgaben nur unzureichend untersuchen.

So zeigen zwar psychometrische Testwerte eine moderate Korrelation zwischen der Selbsteinschätzung älterer Menschen bezüglich ihrer Alltagskom-

petenzen und ihren Leistungen in Experimenten, in denen alltagsbezogenes Wissen abgefragt wird [1, 39]; ebenso fanden sich in der Berliner Altersstudie signifikante Korrelationen zwischen der Sehschärfe und dem Ausmaß, in dem die Versuchsteilnehmer von Problemen bei Alltagsaktivitäten wie Treppensteigen berichteten [38]. Es ist aber fraglich, ob solche Maße die wirkliche Performanz älterer Menschen und das Ausmaß ihrer Probleme in Alltagssituationen abbilden. Dies gilt besonders für solche Situationen, in denen sensomotorische Faktoren und Mehrfachanforderungen eine Rolle spielen.

Training und Lebenserfahrung

Ein dritter Bereich, in dem der bisherige Kenntnisstand dringend erweitert werden sollte, betrifft die Grenzen und Möglichkeiten der individuellen Adaptation an veränderte Alltagsanforderungen, z. B. durch gezieltes Training oder lebenslange Erfahrung. Hinweise auf die konzeptuellen Limitationen psychometrischer Intelligenzforschung im Erwachsenenalter kommen aus der Erforschung zum Erwerb und Erhalt hochtrainierter Fertigkeiten (Expertise) [21]. So konnten entsprechende Studien zeigen, dass sich die Leistungen älterer Experten in ihren jeweiligen Spezialisierungen nicht durch psychometrische Intelligenzmaße oder generelle Verarbeitungsgeschwindigkeit allein erklären lassen [31].

Für den vorliegenden Fall bedeutet dies, dass Übungsprozesse auch bei der Erklärung von Leistungseinbußen unter Mehrfachanforderungen eine Rolle spielen dürften. Aus entwicklungspsychologischer Perspektive ergibt sich die interessante Möglichkeit, dass bestimmte Tätigkeiten oder Fertigkeiten nur einen geringen Ressourcenbedarf benötigen, weil sie im Rahmen einer Expertise, durch Trainingsinterventionen oder durch langjährige Anpassungsprozesse im Alltag optimiert sind [30]. Im nächsten Abschnitt stellen wir einen konzeptuellen Rahmen vor, der versucht, diesen Aspekten Rechnung zu tragen.

Ressourcenallokation durch SOC

Die diskutierten Überlegungen zur Ressourcenallokation in Doppelaufgabensituationen lassen sich im Rahmen des

Modells der selektiven Optimierung mit Kompensation (SOC) [10, 23] in empirisch prüfbare Hypothesen übersetzen. Die SOC-Theorie ist ein konzeptueller Rahmen für die Formulierung entwicklungspsychologischer Fragestellungen auf verschiedenen Ebenen. Im Mittelpunkt der Theorie steht die Überlegung, dass solche Prozesse adaptiv (d. h. Ausdruck intelligenten Verhaltens) sind, welche es dem Individuum ermöglichen, bestimmte Aspekte einer Entwicklungssituation

- auszuwählen,
- priorisierend zu optimieren und
- entstehende Verluste in anderen Domänen zu kompensieren.

Die im SOC-Modell konzipierten adaptiven Prozesse der Selektion, Optimierung und Kompensation ermöglichen ein theoretisches Verständnis individuellen Verhaltens auf verschiedenen Ebenen. So lassen sich z. B. Entscheidungsprozesse zwischen alternativen Lebenszielen aus dem Blickwinkel der SOC-Perspektive untersuchen und verstehen, wie z. B. die Konzentration auf familiäre Belange auf Kosten der Verfolgung zeitintensiver Karriereziele, [22].

Im Kontext dieses Beitrages fokussieren wir die SOC-Perspektiven auf der Ebene konkreten Verhaltens in ökologisch relevanten Situationen, in denen Individuen multiple sensomotorische und kognitive Anforderungen koordinieren müssen [23]. Die Ressourcenallokation in einer konkreten Situation reflektiert dabei maßgeblich langfristige Adaptationsprozesse, die ihren Ursprung in der Alltagsökologie eines Individuums und seiner Entwicklung haben [30]. In Abb. 1 haben wir die Vorhersagen des SOC-Modells für eine Situation dargestellt, die simultane sensomotorische und kognitive Anforderungen (Gehen und Denken) stellt.

SOC und Lebensalter

Wir gehen davon aus, dass junge Versuchspersonen (VP) in der Lage sind, eine – im Sinne der Standardinstruktion im Doppelaufgabenparadigma – optimale Ressourcenallokation (d. h. gleiche Verteilung der verfügbaren Ressourcen auf beide Aufgaben) zu realisieren. Bei den älteren VP geht das SOC-Modell dagegen davon aus, dass relativ gesehen

größere Anteile der verfügbaren Ressourcen auf das Gehen im Vergleich zur kognitiven Aufgabe alloziert werden. Diese Vorhersage basiert auf empirischen Befunden und theoretischen Annahmen zu 3 Aspekten:

- ▶ der altersbedingten Reduktion der insgesamt verfügbaren Ressourcen,
- ▶ dem relativ erhöhten Ressourcenbedarf sensomotorischer Funktionen mit zunehmendem Alter und
- ▶ der höheren ökologischen Relevanz, die die Aufrechterhaltung eines stabilen Gleichgewichts für ältere Menschen hat.

Auf der Grundlage der eingangs diskutierten Befunde gehen wir davon aus, dass alle Tätigkeiten aus einem Pool limitierter kognitiver Ressourcen eines Individuums gespeist werden. Im Unterschied zu früheren Ansätzen beziehen wir diese Annahme nicht nur auf die Koordination höherer kognitiver Prozesse, sondern explizit auch auf die Verarbeitung sensorischer Stimuli bei der Bewältigung motorischer Aufgaben wie Gehen, Halten des Gleichgewichts oder zeitliche Koordination motorischer Prozesse.

Der erhöhte Ressourcenbedarf für sensomotorische Funktionen bei älteren Menschen resultiert aus altersbedingten Veränderungen z. B. von Muskelkraft, Sehschärfe und Elastizität der Gelenke[4]. Außerdem haben sie eine größere Angst vor Stürzen durch die größere Erfahrung mit den damit verbundenen Risiken im Alter.

Verlustbasierte Selektion

Zusammengenommen bedingen diese 3 Aspekte für ältere Erwachsene die Notwendigkeit, die verfügbaren kognitiven Ressourcen optimal auf verschiedene Funktionen zu allozieren. Eine erfolgreiche (d. h. optimale) Allokation von Ressourcen ist im Sinne des SOC-Modells ein Mittel der Adaptation an vorhandene Verluste. Das SOC-Modell impliziert, dass ältere Menschen lieber ihr Gehen und ihr Gleichgewicht „schützen“, als dort Einbußen zugunsten der simultanen kognitiven Aufgabe hinzunehmen (Abb. 1). Das heißt, dass sie zumindest an den Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit eher die sensomotorischen Funktionen aufrechterhalten. Wir interpretieren eine

solche Priorisierung einer Aufgabe über eine andere als verlustbasierte Selektion unter den Bedingungen eingeschränkter Ressourcen. Im nächsten Abschnitt fassen wir die Ergebnisse zweier neuerer Studien zusammen, die auf einen empirischen Test der Vorhersagen des SOC-Modells ausgerichtet waren.

Doppelaufgabensituation durch Gehen und Denken

Untersuchung bei normalen Anforderungen

Lindenberger et al. [36] führten eine Studie durch, in der Probanden verschiedener Altersgruppen (junge Erwachsene sowie Personen mittleren und hohen Alters) gleichzeitig gehen und sich mit Hilfe einer Mnemotechnik (Methode der Orte) Worte einprägen mussten, die ihnen während des Gehens über Kopfhörer akustisch dargeboten wurde. Die Teilnehmer wurden zuerst in der Ausführung der einzelnen Aufgaben trainiert: Sie lernten einerseits, im Sitzen die Mnemotechnik zu benutzen, und andererseits, auf einer engen Laufbahn so schnell wie möglich zu gehen, ohne die Begrenzungen der Laufbahn zu übertreten.

Insgesamt war die Gedächtnisleistung (die Anzahl der aus der Liste erinnerten Wörter) der Probanden aller Altersgruppen unter der Doppelaufgabenbedingung schlechter als unter der Einzelaufgabenbedingung. Signifikante Unterschiede in der Größe der Doppelaufgabenkosten wurden darüber hinaus

zwischen den jungen Menschen und den Studienteilnehmern mittleren und hohen Alters festgestellt.

Ältere Personen konnten sich beim Gehen im Vergleich zu den jungen (20- bis 30-jährigen) Probanden weniger Wörter merken als im Sitzen oder Stehen. Die Autoren fanden höhere Doppelaufgabenkosten nicht nur im Bereich des Gedächtnisses, sondern auch für das Gehen. Die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit der 40- bis 50-jährigen und 60- bis 70-jährigen sank um 15% (relativ zur Einzelaufgabenbedingung), wenn sie sich gleichzeitig Wörter einprägen mussten. Das Gehtempo verringerte sich darüber hinaus während der Einprägungsphase (d. h. für 10 s unmittelbar nach der akustischen Darbietung eines zu merkenden Wortes). Dieses Ergebnis weist auf eine lokale Verschiebung in der Allokation von Ressourcen zwischen dem Gehen und der Gedächtnisaufgabe hin.

Untersuchung bei maximalen Anforderungen

In Weiterführung dieser Arbeiten führten Li et al. [32] in einer neuen Studie Versuchsbedingungen ein, die eine direkte Operationalisierung der in der SOC-Theorie postulierten Prozesse der verlustbasierten Selektion und Kompensation ermöglichen. Auch in dieser Studie gingen die Teilnehmer (junge und ältere Erwachsene, Alter: 20–30 Jahre, bzw. 60–75 Jahre) so schnell wie möglich auf einem 24 m langen, ovalen Parcours ent-

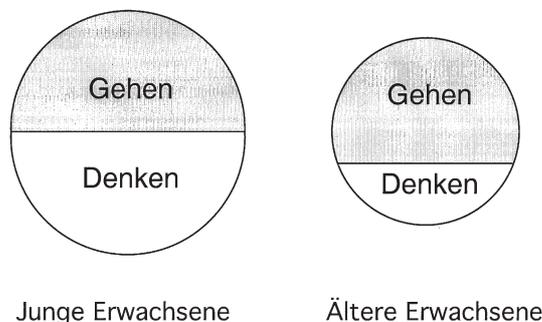


Abb. 1 ▲ Hypothetische Ressourcenallokation auf Gehen und Denken bei jungen und alten Versuchspersonen unter Doppelaufgabenbelastung. Die Größe der Kreise reflektiert die verfügbaren, generellen Ressourcen einer jungen bzw. einer älteren Versuchsperson. Die Kreissegmente illustrieren die vorhergesagte Allokation der Ressourcen auf sensomotorische bzw. kognitive Aufgabenanforderungen. Ältere Menschen „schützen“ ihr Gehen und ihr Gleichgewicht auf Kosten der Performanz in der kognitiven Aufgabe

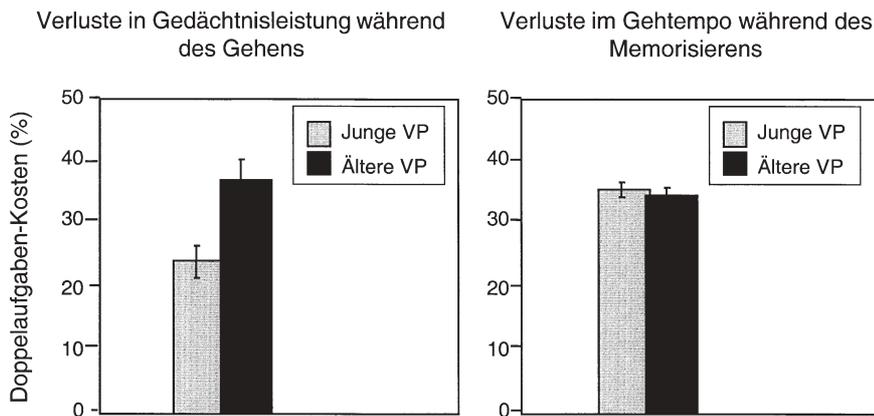


Abb. 2 ▲ **Doppelaufgabenkosten für Gehen und Memorieren bei jungen und älteren Erwachsenen.** Die *linke* Abbildung zeigt die Einbußen in der Doppelaufgabensituation (Gehen und Memorieren) als prozentualen Anteil der Leistung in der Einzelaufgabenbedingung für die Gedächtnisaufgabe (Anzahl erinnerter Wörter). Die *rechte* Abbildung illustriert die relative Verringerung des Gehtempo unter Doppelaufgabenbedingungen. (Abbildung adaptiert aus den Daten der Studie von Li et al. [32])

lang und prägten sich mit Hilfe der Mnemotechnik Wörter ein.

Ein wesentlicher Unterschied zu der vorher beschriebenen Studie von Lindenberger et al. bestand darin, dass Li et al. verlustbasierte Selektion induzierten, indem sie die Doppelaufgabenperformance der VP an den Grenzen ihrer Maximalleistungen sowohl beim Gehen als auch beim Memorieren untersuchten. Dazu wurden die Teilnehmer in der ersten Phase der Untersuchung (Gesamtumfang 25 Sitzungen) bis an ihre individuellen Leistungsgrenzen unter Einzelaufgabenbedingungen für beide Aufgaben trainiert. In den Doppelaufgabenbedingungen wurde dann die Maximalperformance als Referenz benutzt.

Zusätzlich wurde die Schwierigkeit beider Komponenten variiert, indem Hindernisse auf dem Parcours platziert wurden, über die die VP steigen mussten, bzw. indem die Darbietungszeit des zu memorierenden Materials relativ zur individuellen Bestleistung verkürzt wurde.

Abbildung 2 zeigt, dass ältere Studienteilnehmer im Vergleich zu den jungen Menschen höhere Doppelaufgabenkosten im Bereich des Memorierens zeigten. Die Analyse der Geschwindigkeit beim Gehen ergab jedoch, dass hier die Doppelaufgabenkosten in beiden Altersgruppen ähnlich waren (Abb. 2, rechts). Im Einklang mit den Vorhersagen des SOC-Modells illustrieren diese Befunde, dass ältere Menschen, wenn sie an den Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit operieren, eher die Aufrechterhaltung eines stabilen Gleichgewichts priorisie-

ren, als dort Einbußen zugunsten der kognitiven Aufgabe hinzunehmen.

Eine weitere Manipulation dieser Studie zielte direkt auf den in der SOC-Theorie formulierten Aspekt der Kompensation ab. Dazu wurden die Teilnehmer im Gebrauch von kompensatorischen Hilfsmitteln für beide Aufgabenkomponenten trainiert:

- ▶ Für das Gehen war die kompensatorische Hilfe ein Gelände rings um den Parcours, an dem die VP sich abstützen konnten.
- ▶ Als kompensatorische Hilfe für die Gedächtnisaufgabe konnten die VP mithilfe einer Buttonbox mit drahtloser Übertragung die Einprägungsdauer für ein gerade gehörtes Item verlängern.

In Übereinstimmung der Annahmen des SOC-Modells (ältere Menschen priorisieren das Gehen relativ zum Memorieren) zeigte sich, dass die älteren VP häufiger das Gelände als die kompensatorische Memorierungshilfe benutzten. Dagegen nutzten junge Versuchsteilnehmer häufiger die Möglichkeit, die Einprägungsdauer bei der Memorierungsaufgabe zu verlängern.

Fazit

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass sich die Priorität der Ressourcenallokation zwischen sensomotorischen und kognitiven Anforderungen im Alter verschiebt in Richtung auf die

Aufrechterhaltung der sensomotorischen Funktionen. Im Rahmen des SOC-Modells sprechen die Ergebnisse älterer Studienteilnehmer sowohl für verlustbasierte Selektion (Priorisierung des Gehens als Ausgleich für nachlassende Effizienz sensomotorischer Funktionen) als auch für die Existenz von Kompensation und ihren gezielten Einsatz im Einklang mit den vermuteten, selektiven Präferenzen älterer Menschen.

Posturographie

Einen weiteren Zugang zur Untersuchung ökologisch relevanter Aspekte aus Alltagssituationen in Laborsettings bietet die Posturographie. In der Literatur wurden verschiedene Maße für die Messung des Gleichgewichts vorgeschlagen [24, 27], deren Verfügbarkeit von der verwendeten Technologie abhängt.

Untersuchungsmethodik und Aufgaben

In den im folgenden beschriebenen Studien [14, 46] wurde eine Kraftmessplattform (Firma Kistler Instrumenten AG, Winterthur, Schweiz) verwendet. Aus den durch die Füße ausgeübten Kräften und ihren Momenten lässt sich die Projektion des Körperkraftschwerpunkts auf die Plattform („center of pressure“, COP) errechnen. Die Geschwindigkeit der COP-Bewegung sowie die von der COP-Bewegung während eines Versuchsdurchgangs umschriebene Fläche dienen als Maße für die Stabilität (das Gleichgewicht) der VP.

Durch eine computergesteuerte Roboterachse in der verwendeten Versuchsanordnung ist es möglich, das Gleichgewicht der Probanden nicht nur unter statischen, sondern auch unter dynamischen Bedingungen (harmonische, kontinuierliche Drehschwingung oder temporäre Perturbationen) zu untersuchen. Parallel zur Messung der Stabilität und der Steuerung der Plattform können der VP visuelle und akustische Stimuli im Rahmen einer simultanen kognitiven Aufgabe dargeboten werden.

In einer kürzlich durchgeführten Untersuchung sind wir [14] der Frage nachgegangen, wie flexibel junge Erwachsene (Durchschnittsalter: 24,5 Jahre) und ältere Erwachsene (Durchschnittsalter: 75,9 Jahre) ihre mentalen Ressourcen auf simultane kognitive und

sensomotorische Aufgaben allozieren können und inwieweit sich die Leistung bei beiden Anforderungen und ihre Koordination trainieren lassen.

Die sensomotorische Aufgabe verlangte von den Probanden, nach unerwarteten Perturbationen durch kurze Plattformschwankungen ihr Gleichgewicht so schnell wie möglich wieder zu stabilisieren. Die kognitive Aufgabe war eine Wahl-Reaktionszeit-Aufgabe, bei der die VP auf akustische Stimuli so schnell wie möglich durch Drücken einer Taste reagieren mussten.

Der Schwierigkeitsgrad beider Aufgaben wurde systematisch variiert. In 3 speziellen Doppelaufgabenbedingungen erhielten die VP zusätzlich die Instruktion, sich entweder primär auf das Gleichgewicht oder auf die Wahl-Reaktionszeit-Aufgabe zu konzentrieren, oder zu versuchen, beide Aufgaben gleich gut auszuführen.

Ergebnisse

Generell ließen sich Kosten durch die gleichzeitige Ausführung beider Aufgaben nachweisen. Wie schon in den Studien zum Gehen und Denken, priorisierten die älteren Teilnehmer jedoch die Aufrechterhaltung eines stabilen Gleichgewichts. Das heißt, ihre Doppelaufgabenkosten im sensomotorischen Bereich waren kleiner als im kognitiven Bereich, unabhängig von der Instruktion und vom Schwierigkeitsgrad der Aufgaben.

Ein Vergleich der 3 Instruktionsbedingungen zeigte, dass die VP durchaus in der Lage waren, mehr oder weniger Aufmerksamkeit auf die Reaktionszeit-aufgabe zu richten. Das Gleichgewichtsverhalten entzog sich bei älteren Menschen besonders bei stärkeren Perturbationen jedoch weitestgehend einer willkürlichen Aufmerksamkeitskontrolle. Wir interpretieren diese nachlassende Flexibilität bei der Ressourcenallokation als einen weiteren Beleg für die Priorisierung des Gleichgewichts unter Bedingungen von Mehrfachanforderungen.

Ein positiver Befund dieser Studie war, dass sowohl junge als auch ältere Teilnehmer im Laufe der 8 Sitzungen nicht nur ihre Performanz in den Einzelaufgaben deutlich verbesserten, sondern auch in der Lage waren, ihre Doppelaufgabenkosten zu reduzieren.

Im nächsten Abschnitt beschreiben wir eine Doppelaufgabenstudie mithilfe

der Posturographie, in der kognitive und sensomotorische Funktionen bei Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ und gesunden Erwachsenen im Mittelpunkt standen.

Doppelaufgabensituation bei der Alzheimer-Krankheit

Patienten mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ zeigen im Vergleich zu gesunden älteren Probanden in Doppelaufgaben-situationen besondere Defizite [7]. Das Sturzrisiko ist bei Patienten mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ relativ zu einer gesunden Kontrollgruppe gleichen Alters 3fach erhöht [16].

Fragestellung

Vor dem Hintergrund der SOC-Theorie stellt sich die Frage, ob die beschriebenen Befunde bei Demenz vom Alzheimer-Typ durch einen noch weiter erhöhten Ressourcenbedarf für sensomotorische Funktionen erklärt werden können. Dieses spezielle Defizit würde sich in Doppelaufgaben mit sensomotorischer Komponente in einer Leistungseinbuße bemerkbar machen, welche über die von gesunden Kontrollpersonen gleichen Alters hinausgeht. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob Patienten mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ die sensomotorische Aufgabe vor der kognitiven Aufgabe priorisieren. Dies würde bedeuten, dass es auch bei Patienten mit einer dementiellen Erkrankung zur Priorisierung der Ressourcenallokation im Sinne einer verlustbasierter Selektion kommen kann.

Unsere Überlegungen werden dabei von konzeptuellen Entwicklungen und entsprechenden Befunden in der Alzheimer-Forschung unterstützt. Während die Alzheimer-Krankheit viele Jahre primär als ein Syndrom betrachtet wurde, das mit globalen kognitiven Verlusten einhergeht [2], konnten in den letzten Jahren differenzielle Muster im Krankheitsverlauf charakterisiert werden.

Exekutive Kontrolle bei der Alzheimer-Krankheit

Perry u. Hodges [44] konnten zeigen, dass Defizite in Bereichen der exekutiven Kontrollfunktionen bei Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ noch vor ersten amnestischen oder visuospa-

tialen Störungen auftreten. Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass bereits zu Beginn der klinischen Manifestation der Krankheit messbare Defizite in exekutiven Kontrollfunktionen von besonderer Bedeutung für die Alltagskompetenz sind. Entsprechende Maße haben einen prädiktiven Wert für Kompetenzverluste im späteren Krankheitsverlauf, der über Alterseffekte hinaus geht [13].

Für einen Zusammenhang zwischen exekutiver Kontrolle und Gleichgewichtsfunktionen bei der Demenz vom Alzheimer-Typ sprechen auch neuropsychologische Befunde. Eine funktionell bildgebende Studie bei Patienten mit beginnender Demenz vom Alzheimer-Typ fand eine Korrelation zwischen dem Rückgang des BOLD-Signals im frontalen Kortex und Defiziten im Bereich der exekutiven Kontrolle sowie einer Beeinträchtigung der Gleichgewichtsfähigkeit [42].

Untersuchungsmethodik und Aufgaben

Ausgehend von diesen Befunden haben wir eine SOC-Studie konzipiert, die auf die Effektivität der Ressourcenallokation bei jungen und älteren Erwachsenen abzielt sowie auf Demenzpatienten mit einem dysexekutiven Syndrom. Im Rahmen einer laufenden Serie von Experimenten untersuchten wir [46] 10 junge (Alter 20–30 Jahre) und 10 ältere (Alter 60–80 Jahre) gesunde Versuchspersonen sowie 10 Patienten mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ (Alter 60–80 Jahre) und einer Störung der exekutiven Kontrollfunktionen in einem Dual-Task-Paradigma.

Dabei wurde im Verlauf von 8 Test-sitzungen eine kognitive Aufgabe gestellt, die das Enkodieren, die Manipulation und die zeitgenaue Wiedergabe von Zahlen aus dem Arbeitsgedächtnis erfordert (N-Back-Aufgabe, vgl. [19]). Diese Aufgabe wurde mit einer Gleichgewichtsaufgabe kombiniert, bei der die Teilnehmer instruiert wurden, so stabil wie möglich auf einer statischen oder einer dynamischen (d. h. sich kontinuierlich bewegenden) Plattform zu stehen.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse zeigen in der kognitiven Aufgabe einen Anstieg der Doppelaufgabenkosten bei Patienten mit De-

menz vom Alzheimer-Typ, der überproportional höher ist als bei gesunden Kontrollpersonen gleichen Alters. Mit zunehmender Schwierigkeit der Gleichgewichtsaufgabe nehmen die Doppelaufgabenkosten in der Kognition bei Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ noch weiter zu. Gleichzeitig kommt es aber bei Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ zu einem Rückgang der Doppelaufgabenkosten in der Gleichgewichtsaufgabe, wenn diese schwieriger wird.

Diese Resultate sprechen dafür, dass neben dem alterstypischen Anstieg des Ressourcenbedarfs für sensomotorische Funktionen auch exekutive Kontrollfunktionen bei der simultanen Ausführung von kognitiven und sensomotorischen Aufgaben eine Rolle spielen. So kommt es bei den Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ zu einer verstärkten Priorisierung der sensomotorischen Aufgabe auf Kosten der kognitiven Aufgabe, die im Sinne des SOC-Modells als verlustbasierte Selektion interpretierbar wäre [46].

Die Brauchbarkeit des SOC-Modells für ein Verständnis der mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ einhergehenden Entwicklungsverläufe hat sich auch im Zusammenhang mit der Untersuchung möglicher Interventionsmaßnahmen erwiesen. So postuliert etwa Bäckman [5], dass Trainingszugewinne in einem kognitiven Training bei Demenz vom Alzheimer-Typ nur zu erwarten sind, wenn

- es auf erhaltenen Fähigkeiten aufbaut (Selektion);
- es intensiv durchgeführt wird (Optimierung);
- es pflegende Angehörige mit einbezieht (kompensatorischer Wechsel von internen zu externen Ressourcen);
- es den Transfer der Trainingseffekte auf Alltagssituationen unterstützt (Kompensation durch externe Ressourcen).

Verschiedene Forschungsergebnisse illustrieren dabei jedoch signifikante Rückgänge im Ausmaß der Plastizität bei Patienten mit Demenz vom Alzheimer-Typ [6, 8].

Schlussbemerkungen

Die SOC-Theorie betont, dass die Bewältigung lebenslanger Entwicklungsprozesse dann effektiv gestaltet wird, wenn es dem Individuum gelingt, neue Formen der adaptiven Fitness durch ein Zusammenspiel von Selektion, Optimierung und Kompensation zu erreichen.

Untersuchungen zum Zusammenspiel zwischen sensomotorischen und kognitiven Anforderungen demonstrieren zum einen nachlassende Effizienz in beiden Funktionsbereichen und zunehmende Schwierigkeiten bei der Koordination simultaner Anforderungen im späteren Erwachsenenalter. Auf der anderen Seite verweisen die in SOC-Studien [14, 32, 36, 46] demonstrierten Prozesse von Ressourcenallokation auf ein bemerkenswertes adaptives Potenzial älterer Menschen.

Derartige Adaptationsleistungen erfüllen die klassischen Kriterien für intelligentes Verhalten [12, 30]. Diese wichtige Form von Intelligenz ist aber außerhalb eines entwicklungspsychologischen Kontextes oder auf der alleinigen Basis psychometrischer Intelligenztests nicht operationalisierbar. Voraussetzungen für den experimentellen Nachweis entsprechender Zusammenhänge sind, dass die Versuchsteilnehmer unter ökologisch relevanten Bedingungen getestet werden und die Möglichkeit erhalten, die Funktionen der Teilkomponenten durch Training, möglichst bis an ihre Leistungsgrenzen, zu optimieren [28, 29].

Literatur

1. Allaire JC, Marsiske M (1999) Everyday cognition: Age and intellectual ability correlates. *Psych Aging* 14: 627–644
2. Alzheimer A (1907) Über eine eigenartige Erkrankung der Hirnrinde. *Zeitschrift für Psychiatrie und psychiatrisch-gerichtliche Medizin* 64: 146–148
3. Anderson ND, Craik FIM, Naveh-Benjamin M (1998) The attentional demands of encoding and retrieval in younger and older adults: 1. Evidence from divided attention costs. *Psych Aging* 13: 405–423
4. Anstey KJ, Lord SR, Williams P (1997) Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women. *Psych Aging* 12: 137–144
5. Bäckman L (1992) Memory training and memory improvement in Alzheimer's disease: rules and exceptions. *Acta Neurol Scand* 139: 84–89
6. Bäckman L, Small BJ (1998) Influences of cognitive support on episodic remembering: Tracing the process of loss from normal aging to Alzheimer's disease. *Psych Aging* 13: 267–276
7. Baddeley A, Cocchini G, Della Sala S, Logie RH, Spinnler H (1999) Working memory and vigilance: Evidence from normal aging and Alzheimer's disease. *Brain Cog* 41: 87–108
8. Baltes MM, Kühl K-P, Gutzmann H, Sowarka D (1995) Potential of cognitive plasticity as a diagnostic instrument: A cross-validation and extension. *Psych Aging* 10: 167–172
9. Baltes PB (1987) Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Dev Psych* 23: 611–626
10. Baltes PB, Baltes MM (1990) Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In: Baltes PB, Baltes MM (eds) *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences*. Cambridge University Press, New York
11. Baltes PB, Mayer KU (1999) *The Berlin Aging Study: Aging from 70 to 100*. Cambridge University Press, New York
12. Baltes PB, Staudinger UM, Lindenberger U (1999) Lifespan psychology: Theory and application to intellectual functioning. *Ann Rev Psych* 50: 471–507
13. Bertrand RM, Willis SL (2000) Errors on tasks of everyday competence among Alzheimer's patients. *Cognitive Aging Conference*, Atlanta, GA, USA
14. Bondar A, Krampe RT, Baltes PB (in Vorbereitung) Balance and Cognition: Age Differences in Resource Allocation. Max Planck Institute for Human Development, Berlin
15. Brown LA, Shumway-Cook A, Woollacott MH (1999) Attentional demands and postural recovery: The effects of aging. *J Geront: MS* 54A: M165–M171
16. Buchner D, Larson E (1987) Falls and fractures in patients with Alzheimer-type dementia. *JAMA* 257: 1492–1495
17. Conrad B, Matsunami K, Meyer-Lohmann J, Wiesendanger M, Brooks VB (1974) Transcortical reactions in motor response. *Brain Res* 71: 507
18. Cowan N (1995) *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford University Press, New York
19. Dobbs AR, Rule BG (1989) Adult age differences in working memory. *Psych Aging* 4: 500–503
20. Duke LM, Kaszniak AW (2000) Executive control functions in degenerative dementias: A comparative Review. *Neuropsychology Rev* 10: 98–112
21. Ericsson KA, Krampe RT, Tesch-Römer C (1993) The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psych Rev* 100: 363–406

22. Freund AM, Baltes PB (1998) Selection, optimization, and compensation as strategies of life management: Correlations with subjective indicators of successful aging. *Psych Aging* 13: 531–543
23. Freund AM, Li KZH, Baltes PB (1999) Successful development and aging: The role of selection, optimization, and compensation. In: Brandtstaedter J, Lerner RM (eds) *Action & self-development: Theory and research through the life span*. Sage, Thousand Oaks, CA
24. Goldie PA, Bach TM, Evans OM (1989) Force platform measures for evaluating postural control: Reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil* 70: 510–517
25. Goldman-Rakic PS (1987) Circuitry of the frontal association cortex and its relevance to dementia. *Arch Geront Geriat* 6: 299–309
26. Helmchen H, Reischies FM (1998) Über normales und pathologisches kognitives Altern. *Nervenarzt* 69: 367–387
27. Hufschmidt A, Dichgans J, Mauritz KH, Hufschmidt M (1980) Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications. *Arch Psych Nervenkr* 228: 135–150
28. Kliegl R, Baltes PB (1987) Theory-guided analysis of mechanisms of development and aging through testing-the-limits and research on expertise. In: Schooler C, Schaie KW (eds) *Cognitive functioning and social structure over the life course*. Norwood, New York
29. Kliegl R, Smith J, Baltes PB (1989) Testing-the-limits and the study of adult age differences in cognitive plasticity of a mnemonic skill. *Dev Psych* 25: 247–256
30. Krampe RT, Baltes PB (2002) Intelligence as Adaptive Resource Development and Resource Allocation: A New Look Through the Lenses of SOC and Expertise. In: Sternberg RJ, Grigorenko EL (eds) *Perspectives on the Psychology of Abilities, Competencies, and Expertise*. Cambridge University Press, New York
31. Krampe RT, Ericsson KA (1996) Maintaining excellence: Deliberate practice and elite performance in young and older pianists. *J Exp Psych: Gen* 125: 331–359
32. Li KZH, Lindenberger U, Freund AM, Baltes PB (2001) Walking while memorizing: A SOC study of age-related differences in compensatory behavior under dual-task conditions. *Psych Science* 12: 230–237
33. Li SC, Lindenberger U, Prinz W et al. (2000) A lifetime from differentiation to dedifferentiation: the fall and rise of covariations between intelligence, information processing, and sensory functioning across the lifespan. Max Planck Institute for Human Development and Education, Berlin
34. Lindenberger U, Baltes PB (1994) Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psych Aging* 9: 339–355
35. Lindenberger U, Baltes PB (1997) Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psych Aging* 12: 410–432
36. Lindenberger U, Marsiske M, Baltes PB (2000) Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psych Aging* 15: 417–436
37. Lindenberger U, Mayr U, Kliegl R (1993) Speed and intelligence in old age. *Psych Aging* 8: 207–220
38. Marsiske M, Klumb PL, Baltes MM (1997) Everyday activity patterns and sensory functioning in old age. *Psych Aging* 12: 444–457
39. Marsiske M, Willis SL (1995) Dimensionality of everyday problem solving in older adults. *Psych Aging* 10: 269–283
40. Maylor EA, Wing AM (1996) Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *J Geront: PS* 51B: 143–154
41. McDowd JM, Craik FIM (1987) Effects of aging and task difficulty on divided attention performance. *J Exp Psych: HPP* 14: 267–280
42. Nakamura T, Meguro K, Yamazaki H et al. (1997) Postural and gait disturbance correlated with decreased frontal cerebral blood flow in Alzheimer disease. *Alz Dis Assoc Dis* 11: 132–139
43. Pashler H, Johnston JC (1998) Attentional limitations in dual-task performance. In: Pashler H (ed) *Attention*. Psychology Press, Hove
44. Perry RJ, Hodges JR (1999) Attention and executive deficits in Alzheimer's disease. *Brain* 122: 383–404
45. Phillips CG, Porter R (1977) *Corticospinal Neurons*. Academic Press, London
46. Rapp M, Krampe RT, Baltes PB (in Vorbereitung) *Dual-Task Performance in Alzheimer's Disease and Normal Aging: Working Memory and Postural Control*. Max Planck Institute for Human Development, Berlin
47. Singer T, Lindenberger U (2000) Plastizität. In: Wahl H-W, Tesch-Römer C (Hrsg) *Ange wandte Gerontologie in Schlüsselbegriffen*. Kohlhammer, Stuttgart
48. Teasdale N, Bard C, LaRue J, Fleury M (1993) On the cognitive penetrability of posture control. *Exp Aging Res* 19: 1–13
49. Wiesendanger M (1981) The pyramidal tract: Its structure and function. In: Towe AL, Luschei ES (eds) *Handbook of behavioral Neurobiology*. Plenum, New York