



© pscdesign1 / stock.adobe.com

Schwerhörigkeit und mentale Prozesse

Auditorisches Training verbessert Sprachverstehen und kognitive Leistung

Aleksandra Kupferberg, Andreas Koj, Andreas Radeloff

Viele Schwerhörige nutzen ihre Hörgeräte nicht regelmäßig oder nur selten – mit fatalen Folgen. Denn jahrelang unversorgte Schwerhörigkeit kann auch die kognitiven Fähigkeiten beeinträchtigen und so das Sprachverstehen zusätzlich erschweren – ein Teufelskreis. Mit auditorischem Training lässt sich dem entgegenwirken.

Das auditorische Training oder die Gehörtherapie wurde bereits vor mehreren Jahren als Teil der Rehabilitation im Rahmen der Hörgeräteversorgung vorgeschlagen, weil dadurch nicht nur das Sprachverstehen bei Störgeräusch, sondern auch kognitive Fähigkeiten erfolgreich trainiert werden können [1, 2]. Im Folgenden sollen vor allem Hörtrainingsoptionen vorgestellt werden, die die Zufriedenheit der Patienten steigern und dadurch bewirken, dass sie ihre Hörgeräte kon-

sequenter tragen. Dies beeinflusst auch präventiv die mentale Gesundheit der Betroffenen.

Schwerhörigkeit führt im Gehirn zu crossmodaler Reorganisation

Schwerhörigkeit entsteht sowohl durch Veränderungen der Innenohrstrukturen als auch durch degenerative, traumatische oder entzündliche Prozesse in der neuronalen Verarbeitung der Hörreize (neurale Schwerhörigkeit). Bei nachlassender sensorischer Hörleistung errei-

chen immer weniger auditorische Signale die höheren Anteile der Hörbahn im Mittelhirn (auditorische Thalamuskern) und in der Großhirnrinde (primäre Hörrinde und die sekundäre Assoziationsrinde) [3]. Ist der Zeitraum zwischen deutlicher Beeinträchtigung und dem Einsatz von Hörgeräten lang, kann es zur Reorganisation der Gehirnbereiche kommen, die für das Hören verantwortlich sind. So gibt es klare Hinweise auf eine crossmodale kortikale Reorganisation im auditorischen und visuellen System bei postlingual gehörlosen Cochleaimplantatträgern [4, 5, 6, 7]. Die für das Hören wichtigen neuronalen Netzwerke „verlernen“ das Hören und „erwerben“ neue Fähigkeiten, zum Beispiel visuelle Funktionen. So können Menschen, die ihr Gehör vollständig oder fast vollständig verloren haben, besser

Lippen lesen und Gesichter erkennen. Dieses Phänomen kann bereits bei leichtem Hörverlust auftreten [8]. Während der Taubheit werden die Funktionen den Gehirnbereichen neu zugeordnet, um die sprachbezogene visuelle Verarbeitung durch eine crossmodale Reorganisation zu unterstützen. Gehörlose nutzen ihre Sehfähigkeit viel effizienter als Menschen mit normalem Gehör, weil einige Bereiche des Hörsystems vom Sehsystem übernommen werden [6]. Wenn man also einem tauben Erwachsenen eine Aufgabe gibt, die Lippenlesen erfordert, werden bei ihm auch Bereiche des Hörsystems aktiviert. Bei Normalhörenden kommt es dagegen zur Aktivierung im Broca-Areal, einer Gehirnregion, welche normalerweise für die motorische Erzeugung der Sprache zuständig ist [9]. Darüber hinaus induziert das Lippenlesen bei Gehörlosen eine Aktivierung in den rechten vorderen Regionen des oberen temporalen Kortex, die normalerweise bei Verarbeitung menschlicher Stimmreize aktiv sind. Ist durch eine Hörgeräte- oder Cochlea-Implantat-(CI)Versorgung der akustische Input wieder da, findet eine Art „umgekehrte“ Neuroplastizität statt [9]. Dabei kommt es zu einer progressiven Reaktivierung der frontalen Bereiche, die normalerweise am Sprachverständnis beteiligt sind, und zur Abnahme der Aktivität in auditorischen Bereichen. Das Broca-Areal wird also wieder zunehmend fürs Lippenlesen verwendet und der temporale Cortex zum Hören – so wie es bei Normalhörenden der Fall ist. Das heißt, die erneute Reorganisation nach der Cochlea-Implantation umfasst nicht nur auditorische, sondern auch visuelle und audiovisuelle Sprachverarbeitungsnetzwerke.

Andere Konsequenzen des chronischen Hörverlusts sind Veränderungen der auditorisch-limbischen Konnektivität und Atrophie in frontalen Hirnregionen. In MRT-Befunden war bei Teilnehmern mit ausgeprägter Presbyakusis beispielsweise ein deutlicher Volumenverlust im primären auditorischen Kortex festzustellen [3, 10, 11]. Der Grund könnte in einer neuronalen Degeneration in den Hirnkernen mangels Input aus dem Innenohr liegen. Die auditorische Deprivation kann also zu

kaskadenartigen Einflüssen in der gesamten Hierarchie der an der Sprachverarbeitung beteiligten Regionen führen [12]. Auch die Aktivierung bestimmter Hirnregionen beim Hören kann bei Hörminderung verändert sein. Unter Verwendung der funktionellen MRT wurde die Hirnaktivität der Teilnehmer untersucht, die Sätze hörten, die in ihrer grammatikalischen Komplexität variierten [3]. Im Vergleich zu normalhörenden Teilnehmern zeigten die Teilnehmer mit schlechterem Gehör einen geringeren Grad an Veränderung ihrer neuronalen Aktivität im auditorischen Kortex bei komplexeren Sätzen gegenüber den weniger komplexen Sätzen.

Gehörtraining verhilft CI-Trägern zu mehr Sprachverständnis

Das Gehörtraining gehört zu den relativ jungen Therapieformen, die sich im Spannungsfeld der HNO-Heilkunde, Hörgeräteversorgung und Selbsthilfe entwickelt haben. Anerkannt ist diese Therapieform vor allem in der Rehabilitation nach einer Versorgung mit einem Cochleaimplantat (CI). CI kommen nach Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie für Patienten infrage, bei denen mit Cochlea-Implantaten ein besseres Hören und Sprachverstehen als mit Hörgeräten absehbar zu erreichen sein wird. Dies ist unter Berücksichtigung vieler anderer Faktoren in der Regel der Fall, wenn das Einsilberverständnis mit optimaler Hörgeräteversorgung bei $65 \text{ dB HL} \leq 60 \%$ beträgt [13].

Die alleinige Implantation eines CIs führt jedoch nicht sofort und nicht immer zu einem besseren Sprachverständnis. Da die Patienten nach einer CI-Operation das Hören neu erlernen müssen, rückt die zentrale Hörverarbeitung in den Fokus des medizinischen Interesses. Da die neuronalen Hörareale wieder aktiviert werden müssen, um mit dem CI ein Sprachverstehen zu erlangen, ist ein intensives Training sinnvoll. Für einen größtmöglichen Erfolg kann ein langwieriger Lernvorgang erforderlich sein. Die Übungen, die speziell für die Rehabilitation der CI-Patienten entwickelt wurden, fanden bald

Eingang in die Versorgung Schwerhöriger mit Hörgeräten [14]. Im Jahre 2005 wurde gezeigt, dass durch aktives Hörtraining das Sprachverstehen von CI-Trägern erheblich verbessert wird [15, 16]. Man nimmt an, dass die Wirksamkeit von Hörtraining auf der auditiven Formbarkeit (Plastizität) beruht. Das passive Training durch tägliche Hörerfahrungen reicht jedoch nicht aus, um die Plastizität des zentralen Hörbahnsystems optimal ausschöpfen zu können. Vielmehr wird dafür aktives Training in Ruhe [17, 18] sowie bei Hintergrundgeräusch [19] benötigt.

Ein aktives Hörtraining für CI-Patienten kann zum Beispiel Alltagsgeräusche und Laute von Musikinstrumenten beinhalten, die der Patient voneinander zu unterscheiden lernt. Anfangs lernt man, grobe Unterschiede herauszuhören, später auch kleine Differenzen wahrzunehmen. Als Nächstes werden Lauterkennung und Zahlerkennung trainiert. Später kommen Übungen zur Worterkennung in steigenden Schwierigkeitsgraden. Weitere Aufgaben könnten das Verständnis und die Wiedergabe von vorgelesenen Texten, Gedichten und Zeitungartikeln beinhalten. Wichtig ist, dass alle Übungen auf den individuellen Stand des CI-Trägers zugeschnitten sind.

Hörgeräteversorgung mit auditorischem Training ergänzen

Trotz Problemen im Alltags- und Berufsleben benutzen ca. 80 % der Schwerhörigen im Alter von 54 bis 75 Jahren ihre Hörgeräte nicht regelmäßig oder lassen sie gar weg [20]. Die meisten geben an, dass sie keinen subjektiven Nutzen empfinden, vor allem in Situationen mit Hintergrundgeräuschen [21]. Trotz des technischen Fortschritts in den letzten Jahren und den ständigen Bemühungen der Hersteller, Geräuschreduzierungssysteme in Hörgeräte einzubauen, ist es fast unmöglich, Hintergrundgeräusche zu unterdrücken. Aus diesem Grund ist das Verständnis von Sprache in lauter Umgebung für die Betroffenen immer noch sehr schwierig. Für solche Situationen kann das auditorische Training hilfreich sein. Eine Reihe von Untersuchungen deutet darauf hin, dass Übungen zum Sprachverstehen bei Hin-

tergrundgeräusch die selektive Wahrnehmung und so das Sprachverständnis von Wörtern oder Sätzen signifikant verbessern [22, 23, 24, 25, 26]. Die physiologischen Veränderungen, die dieser Verbesserung zugrunde liegen könnten, sind bereits nach einer kurzen Trainingsdauer und noch Monate nach dem Training nachweisbar [27].

Ein weiteres Problem bei der Verwendung der Hörgeräte besteht darin, dass ein hörgeschädigtes Ohr an Frequenzauflösung verliert. Ein Hörgerät kann diese mangelhafte Frequenzauflösung nicht kompensieren [28, 29]. Nicht alle Hörgeräteträger schaffen es, die durch die Technik verzerrten Signale zu interpretieren. In diesem Fall kann auditorisches Training dem Gehirn helfen, die veränderten neuronalen Muster mit einem bestehenden Gedächtnis für Klänge und Wörter zu verbinden. Die Verbesserung im Sprachverstehen basiert dabei zum einen auf einer Vergrößerung der Anzahl von Neuronen, die auf

Schallreize reagieren [30], und zum anderen auf verbesserter neuronaler Synchronität [31]. Diese „kortikale Plastizität“ aufgrund von auditorischer Stimulation wurde nicht nur bei Ratten [32], sondern auch bei Menschen nachgewiesen [28, 33, 34, 35, 36].

Computergestütztes Training verbessert auch das Gedächtnis

Sowohl für Hörgeräteträger als auch für Patienten mit einem CI wurde das auditorische Training in der Vergangenheit hauptsächlich in einem persönlichen Rahmen durchgeführt, in dem die Betroffenen Erkennung, Diskriminierung, Identifikation und Verständnis gezielt trainiert haben. Mit dem zunehmenden Einsatz von Internet- und Smartphone-Technologien wurde der Zugang zu Hörtrainingsprogrammen auch über Online-Portale und sogar mobile Smartphone-Anwendungen ermöglicht. Die zunehmende Leistungsfähigkeit von automatisierten Spracher-

kennern bietet zusätzliche Rückkopplungsmöglichkeiten. Insbesondere ältere Patienten können von solchen Anwendungen profitieren, weil der Fortschritt des Einzelnen das Tempo vorgibt und das Training in verschiedenen Schwierigkeitsstufen durchgeführt werden kann.

Wissenschaftliche Studien zeigten, dass schwerhörige Menschen nicht nur eine schlechtere kognitive Leistung aufweisen, sondern auch häufiger an Demenz erkranken als Menschen ohne Hörprobleme [37, 38, 39, 40]. Um dem altersbedingten kognitiven Rückgang und Demenz vorzubeugen, haben sich Interventionen, die komplexe mentale Leistung fördern, als vielversprechend erwiesen [41]. So hat man gezeigt, dass Personen mit einem höheren Maß an geistiger Aktivität eine reduzierte Rate des kognitiven Abbaus verzeichnen: das Risiko, eine Demenz zu entwickeln, halbiert sich [42, 43]. Die Fähigkeit des Gehirns, pathologische altersabhängige

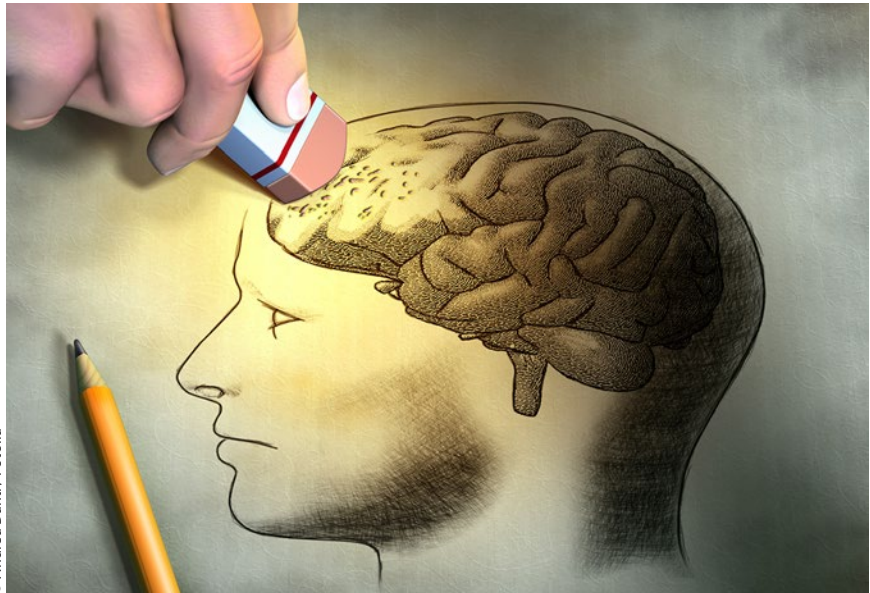
Tab. 1: Übersicht der gängigsten computergestützten Programme für das Training von besserem Sprachverständnis und kognitiver Leistung

Programm und Entwickler	Beschreibung	Publikationen	Darstellung; Sprache	Trainingsziel
Read my Quips; Harry Levitt/Sense Synergy	Enthält Kreuzworträtsel, bei dem in jedes Feld ein Wort und in jede Zeile oder Spalte ein lustiger Spruch geschrieben werden müssen. Die Hinweise zur Lösung des Rätsels erhalten die Teilnehmer aus Videoaufzeichnungen eines von vier Sprechern, die die Lösung bei Hintergrundgeräuschen auf-sagen. Das Programm wendet eine Reihe von Signal-Rausch-Verhältnissen (Signal-to-Noise Ratios) an, um die Aufgaben für die Hörer mit der Zeit an-spruchsvoller zu gestalten. Demzufolge müssen die Hörer zunehmend ler-nen, störende Hintergrundgeräusche zu ignorieren, wenn sie ihr Leistungsniveau erhalten möchten.	[55]	auditorisch, visuell; englisch	Sprachverständnis bei Hintergrund- geräusch
Listening and Commu-nication Enhancement (LACE); Robert Sweetow/ Neurotone	Selbstgesteuertes Trainingsprogramm, das eine Kombination aus analyti-schen und synthetischen Ansätzen verwendet. Während mehrerer Lektio-nen werden Sprachverstehen im Lärm und Verstehen von schneller Sprache trainiert. Darüber hinaus gibt es Übungen für Verarbeitungsgeschwindigkeit und das Gedächtnis wird trainiert. Auch hilfreiche Kommu-nikationstipps begleiten die Teilnehmer. Zu diesem Hörtraining wurden die meisten Wirksamkeitsstudien durchgeführt. Die Studien zeigten Ver-besserungen des Sprachverständnisses und der kognitiven Fähigkeiten.	[56, 57, 58]	auditorisch, visuell; englisch	Schall-Lokalisation, auditive Selektion, auditives Gedächtnis
KOJ Gehörtherapie; KOJ Hearing Research Center	Das interaktive Computerprogramm dient dazu, den optimalen Nutzen bei Anpassung der Hörgeräte zu ermöglichen, indem die Defizite im Sprachverstehen, die beim Training auftreten, bei Einstellungen des Hör-geräts berücksichtigt werden. Weiterhin kann das Training eingesetzt wer-den, um bei den Patienten im Anfangsstadium des Hörverlustes kognitive Fähigkeiten zu trainieren und so dem kognitiven Verfall entgegenzuwir-ken. Es werden Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Schnelligkeit und Sprachver-stehen trainiert. Zu den Basisaufgaben gehören u. a. das Verstehen von einfachen Wörtern aus einem Satz, Unterscheiden von zwei gleichzeitig sprechenden Personen oder Erkennen von Alltagsgeräuschen. Ebenfalls wird das Verstehen von Hörbüchern trainiert.	Studien werden aktuell durchge-führt	auditorisch, visuell; deutsch	Schall-Lokalisation, auditive Selektion, dichotisches Hören, auditives Gedächtnis, visuelles Gedächtnis

Veränderungen auszugleichen, wird als kognitive Reserve bezeichnet. Man nimmt an, dass mental stimulierende Aktivitäten wie höhere Bildung, berufliche Leistung und vielfältige Freizeitaktivitäten zu den Faktoren gehören, die zur kognitiven Reserve beitragen [44, 45]. Das Gehirn kann sich nämlich an die höheren Anforderungen und die komplexere Umwelt anpassen. Bei Primaten und Nagetieren wurden zum Beispiel die Steigerung der Synapsenzahl und bessere neuronale Organisation als Antwort auf Bereicherung der Lebensumgebung nachgewiesen [46]. Da die kognitiven Trainingsprogramme neben dem Sprachverstehen Fähigkeiten wie auditive Aufmerksamkeit und auditives Gedächtnis trainieren, dienen sie auch als Präventionsmaßnahmen gegen kognitiven Verfall. Bei regelmäßiger Durchführung führt ein multimodales Training zu Verbesserungen der Aufmerksamkeit [47], des Arbeitsgedächtnisses [48, 49, 50] und der Verarbeitungsgeschwindigkeit [33] und trägt so zu einer kognitiven Leistungssteigerung bei [51, 52]. Die positiven Effekte für das Gedächtnis lassen sich sogar noch 12 Monate nach dem Training nachweisen, selbst bei Personen im Alter von 65 bis 75 Jahren [53]. Weiterhin hat das Training positive Auswirkungen auf die kristalline Intelligenz (Fähigkeit, logisch zu denken und Probleme zu lösen) [54] und die neuronale Zeitverzögerung der auditorischen Signale im Gehirn [33]. Dank des auditorischen Trainings stehen also mehr Ressourcen für die Sprachverarbeitung zur Verfügung. In **Tab. 1** sind die gängigsten multimodalen computergestützten Trainingsprogramme aufgelistet und beschrieben.

Fazit

Eine jahrelange unversorgte Schwerhörigkeit erzeugt eine sensorische Deprivation und kann mit beschleunigtem kognitiven Verfall in Verbindung stehen [59]. Der Rückgang der kognitiven Leistungsfähigkeit kann das Sprachverstehen zusätzlich erschweren. Obwohl die Neuroplastizität im Alter abnimmt, hat die Wiederherstellung der verlorenen Sinnesfunktion auch bei älteren Erwachsenen erhebliche positive Auswir-



© Andrea Danti / Fotolia

Schwerhörige Menschen weisen nicht nur öfter eine schlechtere kognitive Leistung auf, sie erkranken auch häufiger an Demenz.

kungen auf ihren kognitiven Status [60] und ihre Lebensqualität [61, 62]. Die Erfolge sind bereits nach wenigen Monaten erkennbar. Das Wiedererlernen des Sprachverstehens nach einer CI-Versorgung ist umso erfolgreicher, je kürzer die Dauer des unbehandelten Hörverlustes war [63]. Das könnte daran liegen, dass Hörgeräte eine schützende Wirkung gegen unvorteilhafte Plastizität haben, wie z. B. dass Hörareale zugunsten des Sehens genutzt werden [64]. Daher sollten Patienten mit einem Hörverlust ermutigt werden, so regelmäßig wie möglich ihre Hörgeräte zu tragen, bevor sie beginnen, sich intensiv an ihre Behinderung anzupassen.

Angesichts der Zusammenhänge zwischen altersbedingtem Hörverlust und neuropsychiatrischen Störungen im späteren Leben [37, 65, 66] kann die Beurteilung eines Patienten mit subjektiven Gedächtnisproblemen oder depressiven Symptomen eine wichtige Möglichkeit zur Prävention von demenziellen und psychiatrischen Erkrankungen sein. So kann der Nachweis einer signifikanten Hörminderung dem Arzt wichtige prognostische Informationen über die kognitive Funktion und das Risiko einer Depression oder Demenzerkrankung liefern. Auch psychotherapeutische Behandlungen können sich als nützlich er-

weisen, um Patienten dabei zu helfen, ihren Hörverlust zu akzeptieren und zu verstehen, dass Hörverlust behandelbar ist und nicht einen unvermeidlichen Teil des Alterns darstellt.

Durch die Verwendung von Hörgeräten werden bei vielen Patienten Gehirnregionen wieder stimuliert, die eine Zeit lang keine oder unzureichende Signale bekommen haben. Wegen der oft langen sensorischen Deprivation muss die Interpretation der Signale teilweise neu erlernt werden. Gezieltes Training nutzt die Plastizität des Gehirns auch im hohen Alter und kann helfen, die auditiven Wahrnehmungsfähigkeiten zu verbessern, die für das Verstehen der gesprochenen Sprache unerlässlich sind.

Literatur

www.springermedizin.de/hno-nachrichten

Korrespondierende Autorin

Dr. Aleksandra Kupferberg
 Universitäre psychiatrische Dienste Bern (UPD)
 Abteilung für Molekulare Psychiatrie
 Bolligenstrasse 111,
 3000 Bern 60
 E-Mail: a.kupferberg@khrc.info

Literatur

1. Hesse G, Eichhorn S, Laubert A. Hörfähigkeit und Schwerhörigkeit alter Menschen. *HNO* (2014) 62:630–639. doi:10.1007/s00106-014-2903-8
2. Ptok M, Meyer S, Ptok A. [Hearing training, hearing therapy and auditory rehabilitation in hearing impaired individuals during the last few centuries]. *HNO* (2012) 60:913–918. doi:10.1007/s00106-012-2550-x
3. Peelle JE, Troiani V, Grossman M, Wingfield A. Hearing loss in older adults affects neural systems supporting speech comprehension. *J Neurosci Off J Soc Neurosci* (2011) 31:12638–12643. doi:10.1523/JNEUROSCI.2559-11.2011
4. Chen L-C, Sandmann P, Thorne JD, Bleichner MG, Debener S. Cross-Modal Functional Reorganization of Visual and Auditory Cortex in Adult Cochlear Implant Users Identified with fNIRS. *Neural Plast* (2016) 2016:4382656. doi:10.1155/2016/4382656
5. Sandmann P, Dillier N, Eichele T, Meyer M, Kegel A, Pascual-Marqui RD, Marcar VL, Jäncke L, Debener S. Visual activation of auditory cortex reflects maladaptive plasticity in cochlear implant users. *Brain J Neurol* (2012) 135:555–568. doi:10.1093/brain/awr329
6. Stropahl M, Debener S. Auditory cross-modal reorganization in cochlear implant users indicates audio-visual integration. *NeuroImage Clin* (2017) 16:514–523. doi:10.1016/j.nicl.2017.09.001
7. Stropahl M, Plotz K, Schönfeld R, Lenarz T, Sandmann P, Yovel G, De Vos M, Debener S. Cross-modal reorganization in cochlear implant users: Auditory cortex contributes to visual face processing. *NeuroImage* (2015) 121:159–170. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.07.062
8. Campbell J, Sharma A. Cross-Modal Re-Organization in Adults with Early Stage Hearing Loss. *PLOS ONE* (2014) 9:e90594. doi:10.1371/journal.pone.0090594
9. Rouger J, Lagleyre S, Démonet J-F, Fraysse B, Deguine O, Barone P. Evolution of cross-modal reorganization of the voice area in cochlear-implanted deaf patients. *Hum Brain Mapp* (2012) 33:1929–1940. doi:10.1002/hbm.21331
10. Eckert MA, Cute SL, Vaden KL, Kuchinsky SE, Dubno JR. Auditory cortex signs of age-related hearing loss. *J Assoc Res Otolaryngol JARO* (2012) 13:703–713. doi:10.1007/s10162-012-0332-5
11. Lin FR, Ferrucci L, An Y, Goh JO, Doshi J, Metter EJ, Davatzikos C, Kraut MA, Resnick SM. Association of hearing impairment with brain volume changes in older adults. *NeuroImage* (2014) 90:84–92. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.12.059
12. Peelle JE, Johnsrude IS, Davis MH. Hierarchical processing for speech in human auditory cortex and beyond. *Front Hum Neurosci* (2010) 4:51. doi:10.3389/fnhum.2010.00051
13. Weißbuch Cochlea-Implantat(CI)-Versorgung (DGHHNO). Medconweb - Fachportal Für Med Available at: <https://medconweb.de/index.php?thread/1971-wei%C3%9Fbuch-cochlea-implantat-ci-versorgung-dghno/> [Accessed January 30, 2019]
14. Burian K, Eisenwort B, Pfeifer C. Hörtraining: ein Trainingsprogramm für Kochlearimplantatträger und Hörgeräteträger. Stuttgart; New York: Thieme (1986).
15. Fu Q-J, Galvin JJ 3rd. Maximizing cochlear implant patients' performance with advanced speech training procedures. *Hear Res* (2008) 242:198–208. doi:10.1016/j.heares.2007.11.010
16. Fu Q-J, Galvin JJ, Wang X, Nogaki G. Moderate auditory training can improve speech performance of adult cochlear implant patients. *Acoust Res Lett Online* (2005) 6:106–111. doi:10.1121/1.1898345
17. Schumann A, Hast A, Hoppe U. Speech Performance and Training Effects in the Cochlear Implant Elderly. *Audiol Neurotol* (2014) 19:45–48. doi:10.1159/000371611
18. Stacey PC, Raine CH, O'Donoghue GM, Tapper L, Twomey T, Summerfield AQ. Effectiveness of computer-based auditory training for adult users of cochlear implants. *Int J Audiol* (2010) 49:347–356. doi:10.3109/14992020903397838
19. Oba SI, Fu Q-J, Galvin JJ. Digit training in noise can improve cochlear implant users' speech understanding in noise. *Ear Hear* (2011) 32:573–581. doi:10.1097/AUD.0b013e31820fc821
20. McCormack A, Fortnum H. Why do people fitted with hearing aids not wear them? *Int J Audiol* (2013) 52:360–368. doi:10.3109/14992027.2013.769066
21. Lupsakko TA, Kautiainen HJ, Sulkava R. The non-use of hearing aids in people aged 75 years and over in the city of Kuopio in Finland. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol Off J Eur Fed Oto-Rhino-Laryngol Soc EUFOS Affil Ger Soc Oto-Rhino-Laryngol - Head Neck Surg* (2005) 262:165–169. doi:10.1007/s00405-004-0789-x
22. Burk MH, Humes LE, Amos NE, Strauser LE. Effect of Training on Word-Recognition Performance in Noise for Young Normal-Hearing and Older Hearing-Impaired Listeners. *Ear Hear* (2006) 27:263. doi:10.1097/01.aud.0000215980.21158.a2
23. Burk Matthew H., Humes Larry E. Effects of Training on Speech Recognition Performance in Noise Using Lexically Hard Words. *J Speech Lang Hear Res* (2007) 50:25–40. doi:10.1044/1092-4388(2007/003)
24. Cainer KE, James C, Rajan R. Learning speech-in-noise discrimination in adult humans. *Hear Res* (2008) 238:155–164. doi:10.1016/j.heares.2007.10.001
25. Sullivan JR, Thibodeau LM, Assmann PF. Auditory training of speech recognition with interrupted and continuous noise maskers by children with hearing impairment. *J Acoust Soc Am* (2013) 133:495–501. doi:10.1121/1.4770247
26. Yund EW, Woods DL. Content and Procedural Learning in Repeated Sentence Tests of Speech Perception. *Ear Hear* (2010) 31:769. doi:10.1097/AUD.0b013e3181e68e4a
27. Song JH, Skoe E, Banai K, Kraus N. Training to Improve Hearing Speech in Noise: Biological Mechanisms. *Cereb Cortex* (2012) 22:1180–1190. doi:10.1093/cercor/bhr196
28. Gil D, Iorio MCM. Formal auditory training in adult hearing aid users. *Clinics* (2010) 65:165–174. doi:10.1590/S1807-59322010000200008
29. Olson AD. Options for Auditory Training for Adults with Hearing Loss. *Semin Hear* (2015) 36:284–295. doi:10.1055/s-0035-1564461
30. Bakin JS, Weinberger NM. Classical conditioning induces CS-specific receptive field plasticity in the auditory cortex of the guinea pig. *Brain Res* (1990) 536:271–286.
31. Tremblay K. Beyond the Ear: Physiological Perspectives on Auditory Rehabilitation. (2005). doi:10.1055/s-2005-916374
32. Villers-Sidani E de, Alzghoul L, Zhou X, Simpson KL, Lin RCS, Merzenich MM. Recovery of functional and structural age-related changes in the rat primary auditory cortex with operant training. *Proc Natl Acad Sci* (2010) 107:13900–13905. doi:10.1073/pnas.1007885107
33. Anderson S, White-Schwoch T, Parbery-Clark A, Kraus N. Reversal of age-related neural timing delays with training. *Proc Natl Acad Sci U S A* (2013) 110:4357–4362. doi:10.1073/pnas.1213555110
34. Filippini R, Befi-Lopes DM, Schochat E. Efficacy of Auditory Training Using the Auditory Brainstem Response to Complex Sounds: Auditory Processing Disorder and Specific Language Impairment. *Folia Phoniatr Logop* (2012) 64:217–226. doi:10.1159/000342139
35. Tremblay K, Kraus N, McGee T, Ponton C, Otis B. Central Auditory Plasticity: Changes in the N1-P2 Complex after Speech-Sound Training. *Ear Hear* (2001) 22:79.
36. Tremblay KL, Shahin AJ, Picton T, Ross B. Auditory training alters the physiological detection of stimulus-specific cues in humans. *Clin Neurophysiol* (2009) 120:128–135. doi:10.1016/j.clinph.2008.10.005
37. Davies HR, Cadar D, Herbert A, Orrell M, Steptoe A. Hearing Impairment and Incident Dementia: Findings from the English Longitudinal Study of Ageing. *J Am Geriatr Soc* (2017) 65:2074–2081. doi:10.1111/jgs.14986
38. Fritze T, Teipel S, Óvári A, Kilimann I, Witt G, Doblhammer G. Hearing Impairment Affects Dementia Incidence. An Analysis Based on Longitudinal Health Claims Data in Germany. *PLoS One* (2016) 11:e0156876. doi:10.1371/journal.pone.0156876
39. Heywood R, Gao Q, Nyunt MSZ, Feng L, Chong MS, Lim WS, Yap P, Lee T-S, Yap KB, Wee SL, et al. Hearing Loss and Risk of Mild Cognitive Impairment and Dementia: Findings from the Singapore Longitudinal Ageing Study. *Dement Geriatr Cogn Disord* (2017) 43:259–268. doi:10.1159/000464281

40. Lin FR, Metter EJ, O'Brien RJ, Resnick SM, Zonderman AB, Ferrucci L. Hearing loss and incident dementia. *Arch Neurol* (2011) 68:214–220. doi:10.1001/archneurol.2010.362
41. Acevedo A, Loewenstein D. Nonpharmacological cognitive interventions in aging and dementia. *J Geriatr Psychiatry Neurol* (2007) 20:239–249. doi:10.1177/0891988707308808
42. Valenzuela MJ, Sachdev P. Brain reserve and dementia: A systematic review. *Psychol Med* (2006) 36:441–454. doi:10.1017/S0033291705006264
43. Valenzuela MJ, Sachdev P. Brain reserve and cognitive decline: A non-parametric systematic review. *Psychol Med* (2006) 36:1065–1073. doi:10.1017/S0033291706007744
44. Verghese J, Lipton RB, Katz MJ, Hall CB, Derby CA, Kuslansky G, Ambrose AF, Sliwinski M, Buschke H. Leisure Activities and the Risk of Dementia in the Elderly. *N Engl J Med* (2003) 348:2508–2516. doi:10.1056/NEJMoa022252
45. Wilson RS, Mendes De Leon CF, Barnes LL, Schneider JA, Bienias JL, Evans DA, Bennett DA. Participation in cognitively stimulating activities and risk of incident Alzheimer disease. *JAMA* (2002) 287:742–748.
46. Milgram NW, Siwak-Tapp CT, Araujo J, Head E. Neuroprotective effects of cognitive enrichment. *Ageing Res Rev* (2006) 5:354–369. doi:https://doi.org/10.1016/j.arr.2006.04.004
47. O'Brien JL, Lister JJ, Fausto BA, Clifton GK, Edwards JD. Cognitive Training Enhances Auditory Attention Efficiency in Older Adults. *Front Aging Neurosci* (2017) 9: doi:10.3389/fnagi.2017.00322
48. Anderson S, White-Schwoch T, Choi HJ, Kraus N. Training changes processing of speech cues in older adults with hearing loss. *Front Syst Neurosci* (2013) 7:97. doi:10.3389/fnsys.2013.00097
49. Smith GE, Housen P, Yaffe K, Ruff R, Kennison RF, Mahncke HW, Zelinski EM. A Cognitive Training Program Based on Principles of Brain Plasticity: Results from the Improvement in Memory with Plasticity-based Adaptive Cognitive Training (IMPACT) Study. *J Am Geriatr Soc* (2009) 57:594–603. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.02167.x
50. Willis SL, Tennstedt SL, Marsiske M, Ball K, Elias J, Koepke KM, Morris JN, Rebok GW, Unverzagt FW, Stoddard AM, et al. Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *JAMA* (2006) 296:2805–2814. doi:10.1001/jama.296.23.2805
51. Burk MH, Humes LE. Effects of Long-Term Training on Aided Speech-Recognition Performance in Noise in Older Adults. *J Speech Lang Hear Res JSLHR* (2008) 51:759–771. doi:10.1044/1092-4388(2008/054)
52. Stecker GC, Bowman GA, Yund EW, Herron TJ, Roup CM, Woods DL. Perceptual training improves syllable identification in new and experienced hearing aid users. *J Rehabil Res Dev* (2006) 43:537–552.
53. Cheng Y, Wu W, Feng W, Wang J, Chen Y, Shen Y, Li Q, Zhang X, Li C. The effects of multi-domain versus single-domain cognitive training in non-demented older people: a randomized controlled trial. *BMC Med* (2012) 10:30. doi:10.1186/1741-7015-10-30
54. Meister H, Rähmann S, Walger M, Margolf-Hackl S, Kießling J. Hearing aid fitting in older persons with hearing impairment: the influence of cognitive function, age, and hearing loss on hearing aid benefit. *Clin Interv Aging* (2015) 10:435–443. doi:10.2147/CIA.S77096
55. Levitt H, Oden C, Simon H, Noack C, Lotze A. Entertainment overcomes barriers of auditory training. *Hear J* (2011) 64:40. doi:10.1097/01.HJ.0000403510.80465.7b
56. Chisolm TH, Saunders GH, Frederick MT, McArdle RA, Smith SL, Wilson RH. Learning to listen again: the role of compliance in auditory training for adults with hearing loss. *Am J Audiol* (2013) 22:339–342. doi:10.1044/1059-0889(2013)12-0081
57. Henderson Sabes J, Sweetow RW. Variables predicting outcomes on listening and communication enhancement (LACE) training. *Int J Audiol* (2007) 46:374–383. doi:10.1080/14992020701297565
58. Olson AD, Preminger JE, Shinn JB. The effect of LACE DVD training in new and experienced hearing aid users. *J Am Acad Audiol* (2013) 24:214–230. doi:10.3766/jaaa.24.3.7
59. Amieva H, Ouvrard C, Giulioli C, Meillon C, Rullier L, Dartigues J-F. Self-Reported Hearing Loss, Hearing Aids, and Cognitive Decline in Elderly Adults: A 25-Year Study. *J Am Geriatr Soc* (2015) 63:2099–2104. doi:10.1111/jgs.13649
60. Qian ZJ, Wattamwar K, Caruana FF, Otter J, Leskowitz MJ, Siedlecki B, Spitzer JB, Lalwani AK. Hearing Aid Use is Associated with Better Mini-Mental State Exam Performance. *Am J Geriatr Psychiatry* (2016) 24:694–702. doi:10.1016/j.jagp.2016.03.005
61. Acar B, Yurekli MF, Babademez MA, Karabulut H, Karasen RM. Effects of hearing aids on cognitive functions and depressive signs in elderly people. *Arch Gerontol Geriatr* (2011) 52:250–252. doi:10.1016/j.archger.2010.04.013
62. de Miranda EC, Gil D, Iório MCM. Formal auditory training in elderly hearing aid users. *Braz J Otorhinolaryngol* (2008) 74:919–925. doi:10.1016/S1808-8694(15)30154-3
63. Lazard DS, Vincent C, Venail F, Heyning PV de, Truy E, Sterkers O, Skarzynski PH, Skarzynski H, Schauwers K, O'Leary S, et al. Pre-, Per- and Postoperative Factors Affecting Performance of Postlinguistically Deaf Adults Using Cochlear Implants: A New Conceptual Model over Time. *PLOS ONE* (2012) 7:e48739. doi:10.1371/journal.pone.0048739
64. Doucet ME, Bergeron F, Lassonde M, Ferron P, Lepore F. Cross-modal reorganization and speech perception in cochlear implant users. *Brain J Neurol* (2006) 129:3376–3383. doi:10.1093/brain/awl264
65. Fellingner J, Holzinger D, Gerich J, Goldberg D. Mental distress and quality of life in the hard of hearing. *Acta Psychiatr Scand* (2007) 115:243–245. doi:10.1111/j.1600-0447.2006.00976.x
66. Werf M van der, Thewissen V, Dominguez MD, Lieb R, Wittchen H, Os J van. Adolescent development of psychosis as an outcome of hearing impairment: a 10-year longitudinal study. *Psychol Med* (2011) 41:477–485. doi:10.1017/S0033291710000978