

Morina Thalia Larissa Bringezu
Dr. med.

Memories for auditory and visual time patterns. Probing unsupervised perceptual learning via psychophysics.

Fach/Einrichtung: Physiologie

Doktorvater: Prof. Dr. Andreas Draguhn

Die hier vorgestellte Pilotstudie hat mithilfe von psychophysischen Methoden gezeigt, dass Erwachsene zufällige, arrhythmische, akustische und visuelle Zeitintervallsequenzen lernen. Das Studiendesign basierte auf der Aufgabe, Wiederholungen innerhalb einer Zeitintervallsequenz zu erkennen, und ist ein etabliertes Studiendesign, um das sensorische Gedächtnis zu untersuchen. Bisher konnte hiermit gezeigt werden, dass arbiträre akustische Muster, die aus Rauschen oder Klicks bestehen bzw. arbiträre visuelle räumlich-zeitliche Muster, unwillkürlich gelernt werden. Da Forschungsergebnisse nahelegen, dass dieses willkürliche Lernen insbesondere von zeitlichen Informationen beeinflusst wird, habe ich hier das Lernen von Mustern getestet, die aus zufälligen Sequenzen von Zeitintervallen im Millisekundenbereich bestanden. Die Zeitintervalle waren jeweils durch kurze Signale begrenzt, die als akustische Klicks über Kopfhörer hörbar, bzw. als visuelles Lichtsignal auf einem nach Maß handgefertigten Apparat sichtbar waren. Die dadurch entstehenden Zeitintervallsequenzen bestanden entweder aus einer zufälligen Abfolge von Klicks bzw. Lichtsignalen über zwei Sekunden, oder aus einer unmittelbaren Wiederholung einer zufälligen einsekündigen Zeitintervallsequenz, also einer unmittelbaren Abfolge einer zweimaligen Präsentation derselben Sequenz (Wiederholungssequenz). In jedem Versuchsdurchgang wurde eine Zeitintervallsequenz präsentiert. Die Zeitintervallsequenzen beider Mustertypen wurden jedes Mal zufällig neu generiert, bis auf eine, die aus einer unmittelbaren Wiederholung derselben einsekündigen Zeitintervallsequenz bestand, die als Referenzsequenz mehrmals innerhalb desselben Versuchsblocks in zufälligen Intervallen präsentiert wurde, jedoch nicht in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsdurchgängen. Die Probanden wurden nicht darüber informiert, dass sie eine Referenzsequenz mehrmals hören bzw. sehen würden. Sie wurden einzeln getestet, und beurteilten in jedem Versuchsdurchgang, durch das Betätigen einer von zwei Tasten auf einer Tastatur, ob die Sequenz eine Wiederholung derselben Sequenz beinhaltete oder nicht, ohne Feedback zu erhalten. Jeder Versuchsblock bestand aus 80 Versuchsdurchgängen, wobei 40 zufällige zweisekündige Zeitintervallsequenzen präsentiert wurden. In den übrigen 40 Versuchsdurchgängen wurden Wiederholungssequenzen präsentiert, wobei 20 mal die Referenzsequenz präsentiert wurde. Die Probanden wurden nach dem Zufallsprinzip eingeteilt, mit der akustischen oder mit der visuellen Versuchsbedingung zu beginnen. Vor jeder Versuchsbedingung absolvierten sie ein kurzes Training mit Feedback, um sie mit der Aufgabe vertraut zu machen. Anlehnend an vorherige Studien wurde das korrekte Erkennen der Sequenzwiederholung in der Referenzsequenz im Vergleich zu den jeweils neu generierten Wiederholungssequenzen als Maß genommen, um das Ausmaß des Lernens abzuschätzen. Ein besseres Erkennen der Sequenzwiederholung der Referenzsequenz wurde als Lernen derselben interpretiert. Da das zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Gehörs das des Sehens übersteigt, wurden Vorversuche durchgeführt, um den Mindestzeitabstand zwischen zwei Lichtsignalen zu ermitteln, der notwendig ist, damit diese als einzelne Signale wahrgenommen werden. In Anlehnung an ein etabliertes Vorgehen, um eine Vergleichbarkeit der

Sinnesmodalitäten zu erreichen, wurden anschließend die Parameter der Signalsequenzen für akustische und für visuelle Sequenzen gleichgesetzt, wobei die Zeitintervalle zwischen zwei Signalen mindestens 30 ms und maximal 400 ms betragen. Aufgrund des unterschiedlichen zeitlichen Auflösungsvermögens wurde somit ein Unterschied in der Aufgabenschwierigkeit zwischen der akustischen und der visuellen Versuchsbedingung akzeptiert. Insgesamt wurde der Versuch mit insgesamt drei Versuchsgruppen durchgeführt (Experiment A, B, C).

In Übereinstimmung mit aktuellen Forschungsergebnissen konnte ich zeigen, dass es möglich war, Sequenzwiederholungen in akustischen Sequenzen zu erkennen, und, dass diese in der Referenzsequenz häufiger richtig erkannt wurden, als in neuen Wiederholungssequenzen, was darauf hindeutet, dass die akustische Referenzsequenz gelernt wurde. Zudem habe ich gezeigt, dass das Studiendesign für das Testen entsprechenden Lernens visueller Zeitintervallsequenzen adaptiert werden kann. Drittens habe ich beobachtet, dass es möglich ist, Wiederholungen auch in visuellen Zeitintervallsequenzen zu erkennen. Viertes wurde festgestellt, dass die Probanden eine ähnliche Tendenz hatten, Wiederholungen besser in der visuellen Referenzsequenz als in neuen visuellen Wiederholungssequenzen zu erkennen. Darüberhinaus wurden Sequenzwiederholungen sowohl in manchen akustischen, als auch in manchen visuellen Referenzsequenzen besser erkannt, als in anderen, was sich an Beobachtungen aus vorherigen Studien anschließt. Es wird diskutiert, inwiefern Kontrast innerhalb von Mustern zu dem Herausragen von manchen Mustern führt, wobei weitere Forschung notwendig sein wird, um herauszufinden, welche zeitlichen Charakteristika in einem Muster dazu führen, dass es leichter oder schwieriger zu lernen ist.

Der Vergleich zwischen dem Lernen von akustischen und visuellen Sequenzen in Experiment A und B hat eine Ähnlichkeit des Lernprozesses in dem Sinne gezeigt, dass sowohl arbiträre akustische, als auch arbiträre visuelle Zeitintervallsequenzen unwillkürlich gelernt wurden, und dass der Lernprozess in beiden Sinnesmodalitäten möglich war, obwohl die Versuchsblöcke von anderen, der Referenzsequenz statistisch ähnlichen, zufällig generierten Sequenzen durchsetzt war. Diese Beobachtungen legen nahe, dass die menschliche Wahrnehmung unwillkürlich zeitliche Informationen aus der Umgebung aufnimmt, lernt und speichert, was auf ein amodales Prinzip bezüglich des Gedächtnisses von zeitlichen Informationen deutet. Andererseits war das Lernen von visuellen Zeitintervallsequenzen weniger deutlich, die Gesamtleistung war in der visuellen Versuchsbedingung niedriger, und die Dynamik des Lernprozesses war eher schnell und abrupt bezüglich akustischer, und eher graduell und langsam bezüglich visueller Sequenzen, was sich an Beobachtungen aus vorherigen Studien anschließt. Diese Unterschiede zwischen den Sinnesmodalitäten deuten auf modalitätsspezifische Komponenten im Hinblick auf das menschliche Zeitgedächtnis im Millisekundenbereich. Die Annahme, dass sowohl amodale, als auch modalitätsspezifische Mechanismen an dem menschlichen Zeitgedächtnis beteiligt sind, ist mit Verhaltens- und mit neurophysiologischen Beobachtungen aktueller Studien vereinbar. Die Ergebnisse deuten darüberhinaus darauf hin, dass dem menschlichen Gehör eine besondere Rolle bezüglich des Lernens von Zeitinformationen zukommt, was sich an Beobachtungen anschließt, dass der auditorische Cortex am Zeitgedächtnis beteiligt ist, und, dass eine Art auditorischer Code als Standardcode für die Speicherung von Zeitinformationen im Millisekundenbereich dienen könnte. Manche Probanden berichteten davon, dass sie versuchten, die visuellen Lichtsignalsequenzen mental in akustische Klicksequenzen umzuwandeln, um sie besser beurteilen zu können, was sich an Überlegungen anschließt, dass visuelle Muster obligatorisch in eine Art akustischen Code rekodiert werden. Andere Studien haben gezeigt, dass modalitätsspezifische Mechanismen dazu beitragen könnten, dass auf Verhaltensebene bessere Ergebnisse in Aufgaben erzielt werden, die mit der Beurteilung von Zeit zu tun haben, wenn die entsprechenden Stimuli gehört werden, als wenn sie gesehen werden, wobei amodale Mechanismen an dem anschließenden Prozess der Gedächtnisbildung der entsprechenden Stimuli beteiligt sein könnten.

Um zu verhindern, dass die visuellen Zeitintervallsequenzen mental in akustische Sequenzen rekodiert wurden, beinhaltete Experiment C zwei weitere, bimodale Versuchsbedingungen. In diesen beurteilten die Probanden visuelle Zeitintervallsequenzen, während ihnen gleichzeitig über Kopfhörer Rauschen oder arbiträre, akustische Klicksequenzen präsentiert wurden, die in keiner Relation zu den visuellen Sequenzen standen. Die Ergebnisse waren in dem Sinne heterogen, dass manche visuellen Sequenzen trotz simultanen akustischen Inputs gelernt wurden, andere nicht. Diese Ergebnisse replizierten die Ergebnisse der unimodalen Versuchsbedingungen, in denen ebenfalls beobachtet wurde, dass manche Sequenzen leichter zu lernen waren, als andere, und, dass sowohl akustische, als auch visuelle Zeitintervallsequenzen interindividuell unterschiedlich gut gelernt wurden. Darüberhinaus deuten diese Beobachtungen auf Wechselwirkungen zwischen den Sinnesmodalitäten in dem Sinne, dass akustischer Input die Beurteilung der visuellen Sequenzen beeinträchtigt hat, was vorherige Beobachtungen bestätigt, dass akustischer Input die visuelle Wahrnehmung im Kontext von Aufgaben, die im Zusammenhang mit der Beurteilung von Zeit stehen, beeinträchtigt. Zudem sind verschiedene Phänomene der subjektiven Zeitdistorsion bekannt, wie zum Beispiel das Phänomen, dass bekannte Stimuli subjektiv als kürzer wahrgenommen werden, als neue Stimuli. Diese Phänomene können sowohl zu dem Erkennen von Wiederholungen innerhalb einer Sequenz, als auch zu dem Lernen von wiederholt präsentierten Referenzsequenzen beigetragen haben. Allerdings scheinen diese Phänomene im Zusammenhang mit visuellen Stimuli komplexer zu sein, in dem Sinne, dass verschiedene Aspekte, wie Helligkeit, Zahl der Signale, Größe und auch Augenbewegungen die subjektive Zeitdauer beeinflussen. Da es darüberhinaus zahlreiche Belege von Wechselwirkungen zwischen Sinnesmodalitäten gibt, und zum Beispiel akustische Signale das visuelle zeitliche Auflösungsvermögen beziehungsweise die Wahrnehmung einer visuellen Frequenz beeinflussen, kann angenommen werden, dass der akustische Input mit der visuellen Wahrnehmung der Sequenzen in den bimodalen Versuchsbedingungen interferiert hat. Die genauen neurophysiologischen Mechanismen, die der Integration von multimodalen Informationen zugrunde liegen, sind aktuell noch teilweise unklar. Unter der Annahme, dass simultane Sinnesinformationen verschiedener Sinne im Alltag mit hoher Wahrscheinlichkeit zusammenhängen, und, dass eine präzise zeitliche Koordination essentiell ist, z.B. im Hinblick auf sensomotorische Koordination oder auch Sprechen, kann jedoch angenommen werden, dass die Kombination sensorischen Inputs mehrerer Sinne hilfreich bezüglich des Lernens von zeitlichen Informationen sein könnte.

Das Studiendesign stellt im Hinblick auf mehrere Aspekte ein Modell für alltägliches sensorisches Lernen dar. Es erlaubt, unwillkürliches Lernen von umgebenden Informationen, sowie die Stabilität des Lernprozesses bezüglich weiterer präsentierter, möglicherweise interferierender Informationen zu untersuchen. Es erlaubt zudem, sowohl die Dynamik des Lernprozesses, als auch das Langzeitgedächtnis zu untersuchen. Zudem simulieren die Zeitintervallsequenzen alltägliche Stimuli in dem Sinne, dass sie neue, arbiträre, nicht vorhersehbare, nonverbale Sinnesinformationen ohne semantische Bedeutung darstellen, die gleichzeitig statistisch vielseitig und verschiedenen Transformationen zugänglich sind, die es erlauben, zu untersuchen, inwiefern das Gedächtnis für die gelernten Sequenzen robust bezüglich Veränderungen derselben ist. Das Studiendesign ist für Veränderungen und Erweiterungen zugänglich, um das sensorische Gedächtnis weitergehend zu untersuchen, so kann es zum Beispiel für Anwendungen im klinischen Kontext angepasst, oder mit EEG kombiniert werden.

Aufbauend auf den hier vorgestellten Ergebnissen konnte in einer folgenden Studie bestätigt werden, dass sowohl akustische, als auch visuelle Zeitintervallsequenzen unwillkürlich gelernt werden. Zum Einen war dies durch Änderungen der technischen Parameter möglich, was die Notwendigkeit der bestmöglichen Anpassung der visuellen Parameter an das visuelle zeitliche

Auflösungsvermögen unterstreicht. Zum Anderen wurden, basierend auf der Leistung der Probanden in den Trainingsdurchläufen, Ausschlusskriterien definiert, die zum Ausschluss von Probanden aufgrund einer unzureichenden Leistung im visuellen Trainingsdurchlauf geführt haben. Diese Herangehensweise bestätigt die hier beobachteten interindividuellen Unterschiede, die damit übereinstimmen, dass interindividuelle Unterschiede sowohl bezüglich des zeitlichen Auflösungsvermögens als auch im Hinblick auf Lernkapazitäten bestehen. Des Weiteren konnte das Studiendesign auf den Tastsinn ausgeweitet werden, und unwillkürliches Lernen auch von haptischen Zeitintervallsequenzen zeigen. Es konnte darüberhinaus gezeigt werden, dass es möglich ist, das Gedächtnis von unwillkürlich gelernten akustischen Zeitintervallsequenzen auf visuelle und haptische Sequenzen zu übertragen, in dem Sinne, dass Wiederholungen in Zeitintervallsequenzen, die zuvor akustisch gelernt wurden, auch in den entsprechenden visuellen und haptischen Sequenzen besser erkannt wurden, als in neuen Sequenzen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der hier vorgestellten Pilotstudie und die Ergebnisse einer aktuellen, darauf aufbauenden Studie darauf hindeuten, dass ein unwillkürliches Lernen und Erinnern von zeitlichen Informationen im Millisekundenbereich möglicherweise ein universelles Charakteristikum der menschlichen Sinne darstellt.

Diese Verhaltensbeobachtungen öffnen Raum für weiterführende, beispielsweise bildgebende oder elektrophysiologische Studien im Hinblick auf die Erforschung der Hirnareale und der neurophysiologischen Mechanismen, die dem hier beobachteten Phänomen des unwillkürlichen Lernens von Zeitintervallsequenzen zugrunde liegen.