

Das richtige Maß bestimmt die Bewegung

Kenntnisse über räumliche Bezugssysteme sind notwendig für die Steuerung von Neuroprothesen

Eine Position im Raum beschreiben Mathematiker gewöhnlich durch Koordinaten in einem Koordinatensystem. Aber wie macht das unser Gehirn? Bereits seit längerem ist bekannt, dass das Ziel einer Armbewegung in manchen Hirnregionen relativ zu unserer Blickrichtung, in anderen relativ zur aktuellen Position unserer Hand kodiert wird, in jedem Fall aber immer relativ zu unserem eigenen Körper. Aber gilt das immer? Neurowissenschaftler*innen am Deutschen Primatenzentrum (DPZ) – Leibniz-Institut für Primatenforschung in Göttingen haben untersucht, wie das Ziel einer Armbewegung im Primatengehirn räumlich kodiert wird. Dafür trainierten sie zwei Rhesusaffen darauf, zu verschiedenen Zielpositionen auf einem Touchscreen zu greifen, während gleichzeitig die Aktivität ihrer Nervenzellen in den Hirnarealen gemessen wurde, die an der Planung und Ausführung von Armbewegungen beteiligt sind. Die Forschenden fanden heraus, dass ein und dasselbe Hirnareal und sogar dieselben Nervenzellen das Ziel der Bewegung in unterschiedlichen räumlichen Bezugssystemen kodieren können, je nachdem, was gerade durch die zu lösende Aufgabe erforderlich ist. Nicht nur die Position des Ziels relativ zum eigenen Körper spiegelt sich in der Aktivität der Nervenzellen wider, sondern auch die Position des Ziels relativ zu anderen Objekten. Die Verarbeitung räumlicher Informationen ist somit weniger eine Frage des Hirnareals, sondern vielmehr der kognitiven Anforderung und sie kann dynamisch angepasst werden. Die Erkenntnisse sind unter anderem für die Entwicklung von Neuroprothesen relevant, da es für deren Steuerung essentiell ist, die aus dem Gehirn ausgelesene Information im richtigen räumlichen Bezugssystem zu deuten (Nature Communications).

Samstagabend auf einer gut besuchten Stehparty. Servierkräfte balancieren Tablettts mit Häppchen über die Köpfe der Gäste hinweg. Auf einem dieser vorbeieilenden Servierteller haben wir Donuts entdeckt und uns in Sekundenschnelle für den ganz rechts liegenden entschieden. Doch dann verschwindet die Bedienung kurz aus unserem Blickfeld, um danach an anderer Stelle wieder aufzutauchen. Woher weiß unser Arm, wohin er greifen soll? Relativ zu unserem Körper hat unser Lieblingsdonut seine Position zwischenzeitlich verändert. Relativ zu dem Tablett, auf dem der Donut liegt, bleibt seine Position jedoch konstant. Kann unser Gehirn diese Tatsache nutzen? Wie und wo verarbeitet unser Gehirn die unterschiedlichen räumlichen Informationen, um schließlich zielgerichtete Bewegungen, wie den Griff zum Donut, erfolgreich ausführen zu können?

Stellt man sich ein räumliches Koordinatensystem vor, kann dessen Ursprung oder Nullpunkt entweder körperbezogen (Blickrichtung, Position der Hand, des Armes, der Körpermitte) oder objektbezogen (Position, Größe oder Orientierung des Objektes im Raum) sein. Bisher nahm man an, dass im Gehirn körperbezogene Bezugssysteme in anderen Hirnbereichen verarbeitet werden als objektbezogene und dass für die Planung von Armbewegungen nur körperbezogene Bezugssysteme eine Rolle spielen.

Dass dieses klassische Modell neu bewertet werden muss, zeigt nun eine Studie der Forschungsgruppe Sensomotorik am Deutschen Primatenzentrum. Um herauszufinden, welches Koordinatensystem der Planung zielgerichteter Bewegungen zugrunde liegt, trainierten sie zwei Rhesusaffen darauf, sich Bewegungsziele auf einem Touchscreen zu merken, um später danach zu greifen. Die Affen sahen auf dem Bildschirm zunächst ein Objekt bestehend aus fünf kleinen

nebeneinanderliegenden Quadraten, die waagrecht durch eine Linie verbunden waren (das „Tablett“ in unserem Beispiel). Im nächsten Schritt verschwanden die Quadrate und die Affen bekamen einen Zielpunkt zu sehen, der dort positioniert war, wo vorher eines der Quadrate zu sehen war, zum Beispiel im zweiten Quadrat von rechts (die Stelle, an der unser Lieblingsdonut liegt). Darauf folgend verschwand der Punkt und nach einer kurzen Pause erschienen die Quadrate wieder, allerdings auf dem Bildschirm ein Stück nach rechts verschoben. Die Affen sollten nun das Quadrat berühren, wo sie vorher den Zielpunkt gesehen hatten, also das zweite Quadrat von rechts, obwohl es sich auf dem Bildschirm weiter rechts als vorher befand. Während die Affen die Aufgabe durchführten, wurde die Aktivität ihrer Nervenzellen in den Hirnarealen gemessen, die für die Planung und Ausführung zielgerichteter Armbewegungen verantwortlich sind.

„Die Ergebnisse des Experiments überraschten uns“, sagt Bahareh Taghizadeh, Erstautorin der Studie. „Wider Erwarten fanden wir heraus, dass sowohl körper- als auch objektbezogene räumliche Bezugssysteme in ein und demselben Hirnareal nachweisbar sind und dass diese auch durch dieselben Nervenzellen verarbeitet werden, dynamisch anpassbar je nach kognitiver Anforderung.“ Hirnareale mit einer solchen flexiblen räumlichen Kodierung fanden die Forschenden sowohl im Parietal- als auch im Frontallappen des Gehirns.

Für das Donut-Tablett heißt das, solange unser Gehirn nur die Information verarbeitet, dass wir den rechten Donut wollen, geschieht das in einem objektbezogenen Koordinatensystem, also relativ zu dem Tablett, unabhängig von unserer eigenen Position im Raum oder unserer Blickrichtung. Ab dem Moment aber, ab dem wir konkret planen, zu dem Gebäck zu greifen, wird dessen Position relativ zu unserem eigenen Körper kodiert.

Die Ergebnisse sind neben dem Verständnis elementarer Hirnfunktionen auch wichtig für die Entwicklung von Neuroprothesen. Die Aktivität der Nervenzellen legt für die Motorprothese fest, zu welchem Ziel hin eine Bewegung geplant ist. „Wenn ein Roboterarm gesteuert werden soll, ist die Information wesentlich, relativ zu welcher Position im Raum der Arm beispielsweise nach rechts oben bewegt werden soll“, erklärt Alexander Gail, Leiter der Forschungsgruppe Sensomotorik und der Studie. „Die richtige Steuerung hängt maßgeblich davon ab, die Bewegung im richtigen Koordinatensystem zu beschreiben.“ Die Frage, ob und in welchem Maße für die Planung von zielgerichteten Bewegungen in diesen Hirnregionen auch Koordinatensysteme eine Rolle spielen, die durch den uns umgebenden Raum festgelegt sind, wenn wir uns selbst durch den Raum bewegen, sollen zukünftige Studien klären.

Originalpublikation:

Taghizadeh B, Fortmann O, Gail A (2024): Position- and scale-invariant object-centered spatial localization in monkey frontoparietal cortex dynamically adapts to cognitive demand. Nat Commun 15, 3357. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47554-4>