

Ladungsverteilung in Stimulationspulsen bei zeitlicher Pulsinteraktion an der Hörschwelle

Sonja Karg, Christina Lackner, Werner Hemmert

Die reduzierte Frequenzauflösung in Cochlea Implantaten führte dazu, dass in gängigen Kodierungsstrategien (z.B. HD-CIS) die Stimulation mit hohen Raten durchgeführt wird, um besser zeitliche Eigenschaften zu übertragen. Dabei wird durch das „interleaved sampling“ (versetztes Abtasten) die direkte Kanalinteraktion durch Feldüberlappung umgangen, aber die kanalübergreifende Stimulationsrate weiter erhöht.

Wie wir zeigen konnten, ist bis zu 600 μs eine signifikante zeitliche Pulsinteraktion zwischen aufeinander folgenden Pulsen vorhanden. Getestet wurde die Interaktion aufgrund vorangehender unter-schwelliger Stimulation. Dies ist interessant, da gerade die Detektion von amplitudenmodulierten Signalen nahe der Hörschwelle stark von der Stimulationsfrequenz abhängt. Da auf benachbarten Kanälen durch Kanalübersprechen eine unter-schwellige Stimulation zu erwarten ist, haben wir den Einfluss der Stimulusamplitude eines unter-schweligen Vorpulses auf die Schwellwertänderung des Testpulses systematisch untersucht. Hierzu wurde ein Doppelpuls bestehend aus Vorpuls und darauf folgendem Testpuls mit einer Rate von 4Hz gegeben (Pulsparameter: Phasenbreite 40 μs , Interphasenabstand 30 μs). Der Doppelpuls bestand aus einem kathodischen Vorpuls und einem anodischen Testpuls. Das Interpulsintervall (IPI) betrug 20 μs bzw. 80 μs . Das Amplitudenverhältnis Vorpulsamplitude zu Testpulsamplitude variierten wir im Bereich [0...5] in 11 Stufen. Bestimmt wurde die Hörschwelle durch Amplitudenvariation. Gemessen wurde an 5 Probanden im Alter von 20-74 Jahren, die mindestens 2 Jahren Hörerfahrung mit dem Med-El Implantat PulsarCI100 aufwiesen. Die Stimuli wurden direkt mit dem Research Interface RIB II appliziert.

Das Ergebnis der Messungen ist, dass kleine Vorpulsamplituden geringere relative Schwellwertabsenkungen (bezogen auf einen Einzelpuls) erzeugen, als große Vorpulsamplituden. Im getesteten Fall der Pulsinteraktion konnten bei Pulsen knapp unterhalb der Schwelle Schwellwertreduzierungen von: bei IPI 20 μs : 44% \pm 2%, bei IPI 80 μs 39% \pm 2% (Mittelwert \pm std) erzielt werden. Dies lässt darauf schließen, dass keine einfache Summation der beiden Pulsamplituden vorliegt. Die Gesamtladung als Summe von Vorpuls- und Testpuls-Ladung wurde zusätzlich ausgewertet. Ein Doppelpuls benötigt in allen Fällen signifikant mehr Ladung als ein Einzelpuls an der Hörschwelle. Die höchste Gesamtladung tritt auf, wenn Vorpuls und Testpuls die gleiche Amplitude haben d.h. das Amplitudenverhältnis eins ist (IPI 20 μs : 1.43 \pm 0.06 fache und IPI 80 μs : 1.62 \pm 0.05 fache eines Einzelpulses). Bei kleineren Vorpulsamplituden wird erheblich weniger Gesamtladung benötigt.

Dies bedeutet, dass ein unter-schwelliger Reiz eine Veränderung hervorruft, die eine zeitliche Ausdehnung und Dynamik hat. Die in unserer Arbeit gefundene Dauer für die signifikante zeitliche Pulsinteraktion für IPIs liegt im Bereich von 600 μs und bei einigen Probanden bis zu 1 ms.

Wir gehen davon aus, dass der zeitliche Interaktionseffekt auf den nichtlinearen Eigenschaften der neuronalen Dynamik beruht. Bei unter-schwelliger Erregung werden die Neurone polarisiert und die Aktivierung der Ionenkanäle verändert. Die Verschiebung ist nichtlinear und erreicht relativ lange Zeiten, bis der Ruhezustand wieder erreicht ist. Dass die Ladung eines Doppelpulses Ihren geringsten Wirkungsgrad bei Amplitudenverhältnis 1 hat, zeigt dass nicht nur die Integration über die Ladung entscheidend ist, sondern die genaue Verteilung der Ladung über die Zeit.