

BO MA

Dr.sc.hum.

## **Effect of Gradient Vectors Scheme and Noise Correction on Fractional Anisotropy in Diffusion Tensor Imaging of the Peripheral Nervous System.**

Fach/Einrichtung: Radiologie.

Doktormutter: Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Sabine Heiland.

Die Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI) ist eine in Forschung und Klinik weit verbreitete Methode, insbesondere zur Darstellung und Konnektivitätsanalyse der Weißen Hirnsubstanz. Ungeachtet der vielen Möglichkeiten, die DTI bietet, leidet dieses Verfahren unter einem inhärent niedrigen Signal-Rausch-Verhältnis (SNR), da sowohl die lange Echozeit als auch die Diffusionsgradienten das Signal schwächen. Das SNR ist vor allem bei hoher Ortsauflösung niedrig, z.B. bei der DTI von Nerven. Ein niedriges SNR führt zu systematischen und statistischen Fehlern bei Parametern, die aus der DTI berechnet werden, z.B. bei der fraktionalen Anisotropie (FA). Ein niedriges SNR kann teilweise kompensiert werden, indem die Zahl der Diffusionsrichtungen erhöht wird oder Methoden für eine a posteriori Rauschkorrektur verwendet werden. Das robusteste Verfahren bei anatomischen Strukturen mit unbekannter Orientierung besteht darin, die Diffusionsgradienten gleichmäßig im Raum zu verteilen. Wenn jedoch die Vorzugsrichtung der anatomischen Struktur im Voraus bekannt ist, kann es vorteilhaft sein, die Diffusionsgradienten auf einen um die Achse der Struktur zentrierten Kegel zu beschränken. Ziel dieser Arbeit war es, eine DTI-Methode mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit für die Anwendung in peripheren Nerven zu entwickeln. Es wurden zwei Methoden zur Reduzierung des Bildrauschens untersucht: (1) Ein neu entwickeltes Schema von Diffusionsgradienten-Vektoren (DGV), bei dem die Vektoren auf einen Kegel mit einem Öffnungswinkel  $\Theta$  um die Achse des Nervs beschränkt sind und (2) verschiedene Methoden für eine a posteriori Rauschkorrektur.

Hierzu wurden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt, die auf realistischen Werten für Diffusivität, FA und Rauschen beruhen, die aus klinischen Untersuchungen und Studien gewonnen wurden. Außerdem wurden die Methoden in einem speziell angefertigten Phantom getestet, das die Diffusion in peripheren Nerven simuliert (FA = 0,65). Diese Untersuchungen wurden an einem 3-Tesla-Ganzkörper-Magnetresonanz (MR)-Scanner durchgeführt. Um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der DTI unter Verwendung der jeweiligen Meß- oder Korrekturverfahren zu

bestimmen, wurden systematische Abweichungen von FA vom Ausgangswert und der statistische Fehler von FA gemessen. Das neu entwickelte DGV-Schema mit eingeschränkter Raumabdeckung wurde mit Gradientenschemata mit uniformer Raumabdeckung (Jones, Downhill-Simplex-Methode (DSM), Gradientenschema des Herstellers) anhand ihrer Konditionszahl (CN) verglichen. Die Studie zeigte, dass mit dem neu entwickelten DGV Schema FA mit hoher Genauigkeit gemessen werden kann, wenn  $\Theta$  mindestens  $45^\circ$  bzw.  $60^\circ$  beträgt. Das minimale  $\Theta$  hängt dabei von der Zahl der Gradientenrichtungen und von FA ab. Grundsätzlich ist die Genauigkeit des DGV Schemas umso besser, je höher der FA-Wert und je größer die Zahl der Gradienten ist. Für  $N=30$  ermöglichte die DGV eine genaue Bestimmung der FA für den gesamten in dieser Studie untersuchten FA-Bereich (0,4 - 0,8), wenn  $\Theta \geq 45^\circ$  war. Es konnte gezeigt werden, dass bei Verwendung des neuen DGV-Schemas eine geringfügige Neigung der untersuchten Struktur ( $\leq 30^\circ$ ) keinen Einfluss auf die Genauigkeit von FA hat. CN des entwickelten DGV-Schemas war für  $N=6$  höher als CN des Jones-Schemas und des DSM-Schemas; für  $N \geq 10$  war CN des neuen DSM-Schemas kleiner als die des Jones-Schemas. Es ist jedoch auch nicht zu erwarten, dass ein Verfahren, das die Gradientenvektoren auf ein begrenztes Segment des Raums konzentriert, ebenso unempfindlich gegenüber Störungen ist wie Schemata mit gleichmäßiger Gradientenverteilung. Trotzdem lag die CN des neuen DGV-Verfahrens in der gleichen Größenordnung wie die der anderen Verfahren.

Ein Vergleich der verschiedenen a posteriori Korrekturverfahren ergab, dass die Power-Image-Methode die effektivste und robusteste Methode ist und sowohl die systematischen als auch die statistischen Fehler von FA kompensiert. Die Effizienz der Power-Image-Methode ist unabhängig von der Anzahl der verwendeten Diffusionsgradienten. Darüber hinaus funktioniert das Verfahren zuverlässig - unabhängig von der für die Spulenkombination verwendeten Methode (Quadratsumme versus adaptive Kombination). Im Gegensatz dazu waren beide in dieser Studie verwendeten Korrekturfaktor-Verfahren weniger effizient hinsichtlich der Korrektur des Rauschens; außerdem hing die Korrektureffizienz von der Methode der Spulenkombination ab.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Kombination des neu entwickelten DGV-Schemas mit der Power-Image-Methode für die a posteriori Korrektur es ermöglicht, DTI von peripheren Nerven mit hohem SNR, hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit der berechneten Parameter (z.B. FA) durchzuführen, ohne dass zusätzliche Akquisitionszeit erforderlich ist.

Bislang ist allerdings eine Anwendung dieser neu entwickelten und getesteten Verfahren in Studien bzw. bei klinischen Untersuchungen noch nicht erfolgt.