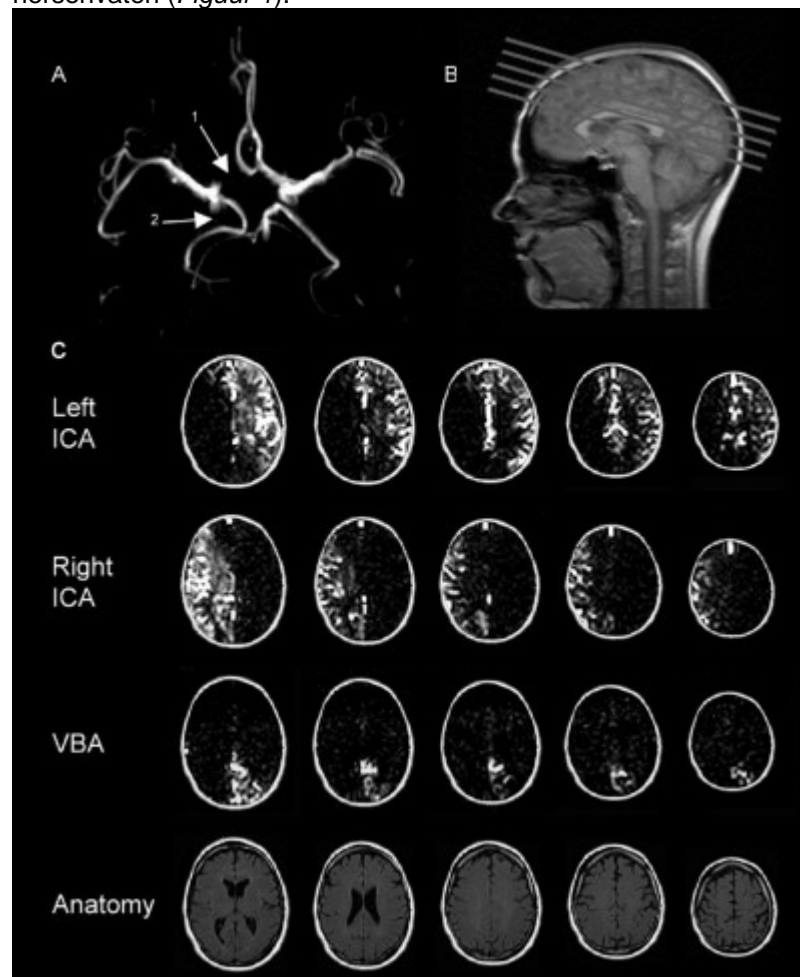


Cerebral perfusion territories

ASL	arteriële spin labeling
CT	computertomografie
DSA	digitale subtractieangiografie
DWI	diffusion weighted imaging
MRI	magnetic resonance imaging
TOF	time-of-flight

De mogelijkheid om de stroomgebieden van de hersenvaten af te beelden is voor veel klinische toepassingen van belang. In het geval van acute ischemie kan de weergave van de individuele stroomgebieden de collaterale bijdrage aan de penumbra laten zien en helpen om te differentiëren tussen een trombo-embolische en hemodynamische oorzaak van de ischemie. Daarnaast kan een schets van de territoria met een duidelijke afbeelding van de individuele stroomgebieden van de hersenvaten ook gebruikt worden om de afkomst van een embolie te bepalen.

Bij chronische cerebrovasculaire ziekten kan de identificatie van de stroomgebieden helpen om de bijdrage van de individuele collaterale vaten te evalueren, in het bijzonder bij patiënten met extracraniale vernauwing of afsluiting van de halsvaten. Meer kennis van de cerebrale stroomgebieden zou verschillen in klinische uitkomsten tussen patiënten kunnen verklaren en de behandelingsopties voor zowel acute ischemie als chronische cerebrovasculaire ziekten kunnen uitbreiden. In dit proefschrift brengen wij de mogelijkheden van selectieve arteriële spin labeling (ASL) MRI aan het licht voor het afbeelden van de stroomgebieden van de hersenvaten (*Figuur 1*).

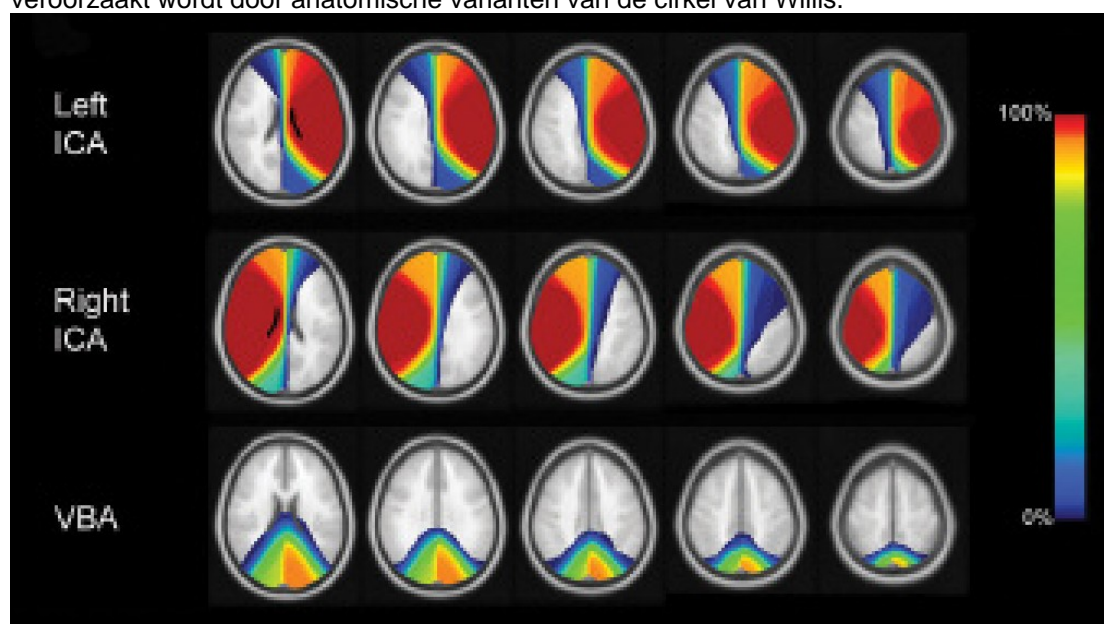


Figuur 1. Voorbeeld van ASL MRI-afbeeldingen bij een gezonde vrijwilliger. (a) TOF MRA van de cirkel van Willis met afwezig A1-segment van de rechter a. cerebri anterior en met foetale variant van de rechter a. cerebri posterior. (b) Locatie van de vijf ASL MR imaging slices. (c) ASL MRI-stroomgebieden van de a. carotis interna links, a. carotis interna rechts en de a. basilaris

Het optimaliseren van selectieve ASL MRI-technieken voor het afbeelden van de cerebrale stroomgebieden heeft de afgelopen decennia geresulteerd in verscheidene methoden en een groeiend aantal klinische toepassingen. Wij beschrijven de mogelijkheden van ASL MRI en laten het belang zien van informatie over de stroomgebieden in het bestuderen van de cerebrale circulatie bij zowel patiënten met als zonder vernauwing of afsluiting van de halsvaten.

Cerebrale stroomgebieden

In een grote populatie zonder vernauwing of afsluiting van de halsvaten laten wij zien dat er grote interindividuele variabiliteit in stroomgebieden is (*Figuur 2*), en dat deze variatie vooral veroorzaakt wordt door anatomische varianten van de cirkel van Willis.



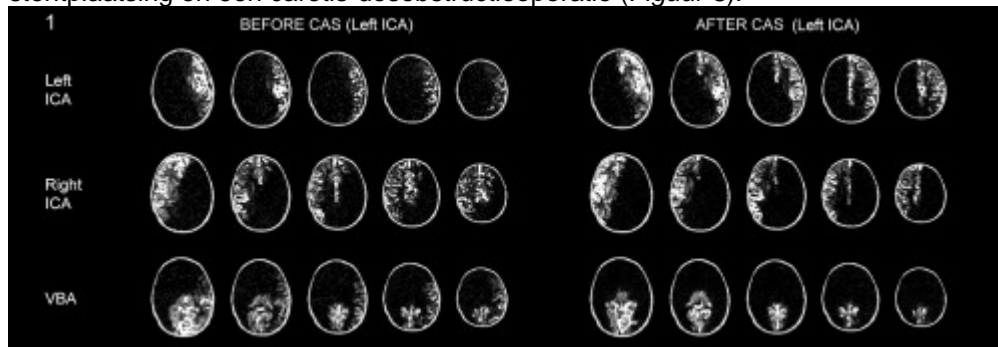
Figuur 2. De ASL MRI-stroomgebieden van de linker a. carotis interna, rechter a. carotis interna en a. basilaris van een grote populatie zonder cerebrovasculaire ziekten (n = 115) laten zien dat er grote interindividuele variabiliteit in stroomgebieden bestaat. Rood = 100% van alle personen laten perfusie zien in dit hersengebied; groen = 50% van alle personen laten perfusie zien in dit hersengebied.

De bevinding dat de configuratie van de cirkel van Willis de omvang van de cerebrale stroomgebieden sterk beïnvloedt lijkt van belang omdat ongeveer de helft van alle gezonde controles een anatomische variant, zoals de afwezigheid van het A1-segment van de arteria (a.) cerebri anterior of een foetale a. cerebri posterior. Bovendien bestaan er vele intermediaire varianten van de cirkel van Willis, waarbij selectieve ASL de bijdrage van elk vat aan de regionale hersendoorbloeding laat zien. De anatomische variabiliteit van de cerebrale vasculatuur veroorzaakt interindividuele verschillen in stroomgebieden van de hersenvaten en kan de mogelijkheden van de cerebrale circulatie om te compenseren voor vernauwing of afsluiting van de halsvaten beperken. Behalve de grote variabiliteit op het niveau van de cirkel van Willis, bestaat er grote variatie op het niveau van de vaten in de nek (bijvoorbeeld 30% prevalentie van hypoplasie van de a. vertebralis). In geval van een ernstige stenose of occlusie zullen de interindividuele verschillen in de morfologie van de vaten in de nek (niveau 1) en de cirkel van Willis (niveau 2) direct invloed hebben op de stroomgebieden van de hersenvaten (niveau 3). De combinatie van de ernst van de stenose en de vasculaire anatomie zal bepalen in welke mate de cerebrale vasculatuur de mogelijkheid heeft effectieve

collateralen te ontwikkelen om te compenseren voor ernstige vernauwing of afsluiting van de halsvaten.

Cerebrale stroomgebieden bij patiënten met cerebrovasculaire ziekten

Wanneer selectieve ASL MRI wordt toegevoegd aan bestaande MRI-protocollen, kan dit waardevolle hemodynamische informatie opleveren in specifieke patiëntenpopulaties met cerebrovasculaire ziekten, zoals patiënten met een vernauwing of afsluiting van de a. carotis interna. Wij vonden bij patiënten met een symptomatische afsluiting van een a. carotis interna, dat het stroomgebied van de a. cerebri media aan de kant van de afsluiting vooral wordt voorzien door de a. basilaris, terwijl de contralaterale a. carotis interna belangrijk is voor het stroomgebied van de a. cerebri anterior. Daarnaast is selectieve ASL MRI geschikt voor niet-invasieve follow-up van patiënten na vasculaire interventies, zoals een carotis-stentplaatsing en een carotis-desobstructieoperatie (Figuur 3).



Figuur 3. Veranderingen in stroomgebieden van de linker a. carotis interna, rechter a. carotis interna en a. basilaris bij een 56-jarige man met een symptomatische stenose in de linker a. carotis interna na stentplaatsing in de linker a. carotis interna.

Wij laten zien dat bij patiënten met een symptomatische ernstige vernauwing van de a. carotis interna een stentplaatsing op dezelfde wijze resulteert in een normalisatie van de territoriale verdeling als een operatie.

Momenteel is intra-arteriële digitale subtractieangiografie (DSA) de standaard voor het visualiseren van de vaatboom in de hersenen en voor het afbeelden van de collaterale bloedstroom in de cirkel van Willis en de leptomeningeale collateralen aan het breinoppervlak. Intra-arteriële DSA levert voortreffelijke informatie op over de aanwezigheid van collateralen en laat tegelijkertijd de meest distale arteriae van een collateraal zien. Intra-arteriële DSA verschaft echter geen informatie over de weefseldoorbloeding, en om alle collateralen af te beelden is een invasieve selectieve katheterisatie van drie vaten nodig.

In de toekomst is selectieve ASL MRI mogelijk in staat om diagnostische intra-arteriële DSA in bepaalde patiëntenpopulaties te vervangen. Bij patiënten met een symptomatische afsluiting van de a. carotis interna en een ernstige vernauwing in de a. carotis externa aan de zijde van de afsluiting bijvoorbeeld, kan kennis over de actuele bijdrage van de a. carotis externa, verkregen met ASL MRI, helpen bij de selectie van patiënten die het meeste baat hebben bij een desobstructie van de ipsilaterale a. carotis externa. Wij vonden dat bij patiënten met een symptomatische afsluiting van de a. carotis interna, focale hersengebieden sterk afhankelijk zijn van de bijdrage van de a. carotis externa aan de weefseldoorbloeding, zelfs bij patiënten met beperkte aanwezigheid van a. carotis externa collateralen op intra-arteriële DSA.

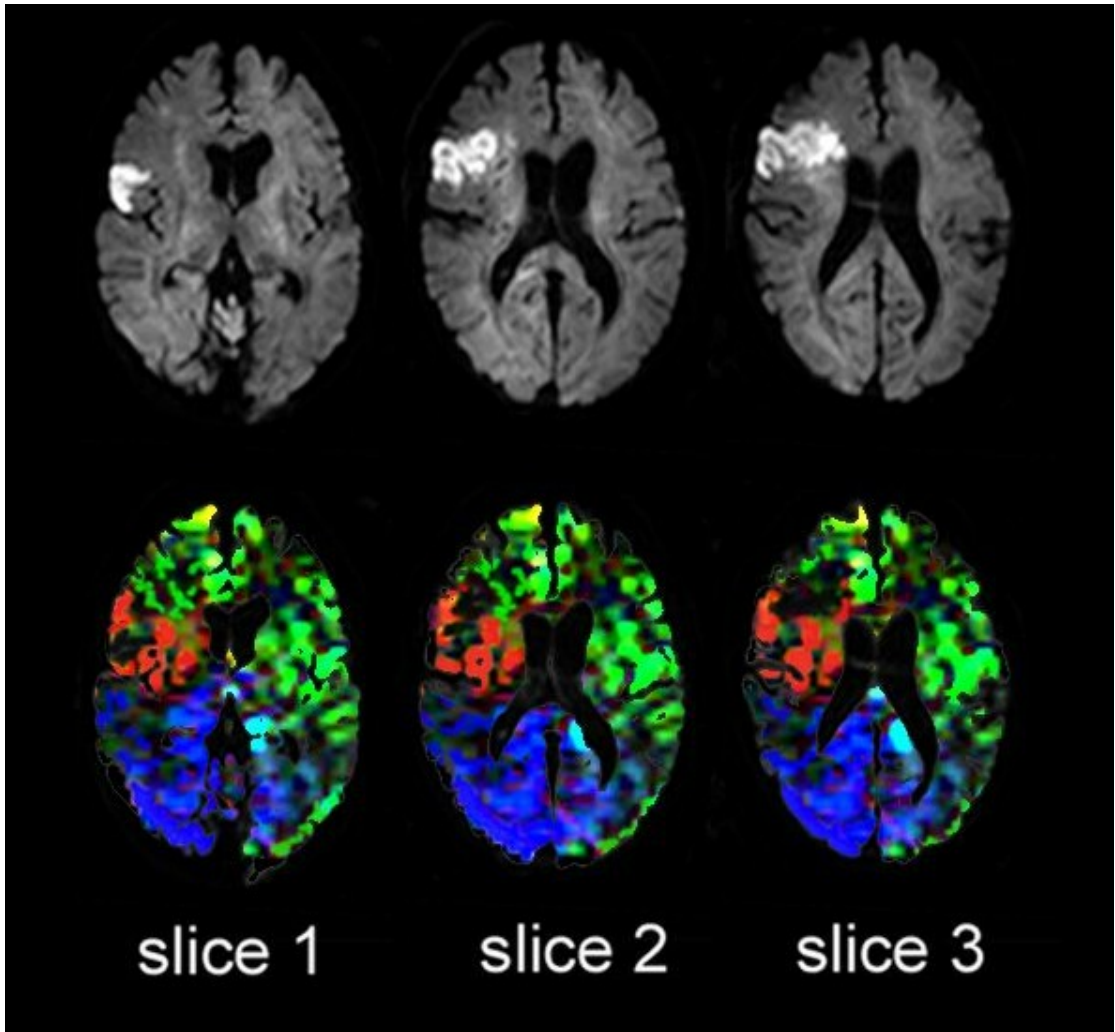
Algemene discussie

De belangrijkste bevindingen van dit proefschrift zijn tweeledig. Ten eerste laten wij zien dat de stroomgebieden van de hersenvaten aanzienlijk variabel zijn. Ten tweede blijkt dat de variatie in stroomgebieden vooral wordt veroorzaakt door anatomische varianten van de cirkel van Willis, door vernauwing of afsluiting van de halsvaten, of door een combinatie van beide. De cerebrale stroomgebieden worden in het algemeen als invariabel beschreven. Vele standaardatlassen en tekstboeken laten schematische tekeningen zien van de 'normale' territoriale verdeling [1-8]. De meeste van deze tekeningen zijn gebaseerd op combinaties van onderzoek post mortem en veronderstellen een symmetrische en een te verwaarlozen

variabele territoriale verdeling. Recent lieten Van der Zwan en collegae een grote variatie in de cerebrale vasculaire territoria zien [9,10]. De grote variatie in stroomgebieden van de grote hersenvaten in dit proefschrift lijkt in overeenstemming te zijn met de resultaten van Van der Zwan. Echter, Van der Zwan onderzocht de territoria van de a. cerebri anterior, a. cerebri media en a. cerebri posterior boven het niveau van de cirkel van Willis. In tegenstelling tot Van der Zwan tonen de in-vivo stroomgebieden in dit proefschrift aan dat de variabiliteit van de stroomgebieden van de halsvaten vooral wordt bepaald door de anatomische variatie op het niveau van de vaten in de nek en op het niveau van de cirkel van Willis. Wij vonden dat de variatie in de stroomgebieden relatief klein is voor personen met eenzelfde morfologie van de cirkel van Willis en vaten in de nek. Hoewel Van der Zwan bijzondere aandacht heeft besteed aan de onderzoekstechniek (o.a. gelijktijdig opspuiten van vaten) onder gestandaardiseerde omstandigheden, zou de niet-fysiologische hersendoorbloedingverdeling in deze post-mortemstudies de verschillen in stroomgebieden mogelijk kunnen verklaren. De bevinding dat de configuratie van de cirkel van Willis een sterke invloed heeft op de verdeling van de cerebrale stroomgebieden lijkt van belang, omdat 65% van de algemene populatie een anatomische variant van de cirkel heeft [11]. Behalve grote variatie op het niveau van de cirkel van Willis laten onze resultaten zien dat de aanwezigheid van een ernstige vernauwing of afsluiting op het niveau van de slagaders in de hals, verstrekkende consequenties heeft voor de verdeling van de cerebrale stroomgebieden. Ernstige verstopping van de halsslagaders wordt van 8% in de algemene populatie [12] tot 30% bij patiënten met symptomatische hersenischemie gevonden [13]. Bij patiënten met vernauwing of afsluiting van de halsvaten zullen de interindividuele verschillen in vasculaire anatomie op het niveau van de cirkel van Willis direct de verdeling van de stroomgebieden van de grote hersenvaten bepalen.

Conclusies

De grote variabiliteit van de cerebrale territoriale verdeling die dit proefschrift laat zien heeft belangrijke implicaties voor de klinische diagnostiek en behandeling van ischemie (*Figuur 4*). Artsen die acute ischemie overwegen te behandelen gebruiken bijvoorbeeld vaak anatomische CT- of MR-beelden om te bepalen of de infarcering is ontstaan door een embolie of door hypoperfusie [14,15]. De resultaten van dit proefschrift tonen echter aan dat noch de aangedane territoria, noch de aard van de ischemie nauwkeurig kan worden gediagnosticeerd op basis van dergelijke anatomische beelden.



Figuur 4. Patiënt met acute cerebrale ischemie en een a. carotis interna-occlusie aan de rechterzijde. Bovenste rij: DWI MRI laat ischemisch infarct zien in de rechter temporale hemisfeer. Onderste rij: De afbeeldingen van de stroomgebieden gemaakt met ASL MRI laten de bijdrage zien van de individuele collaterale vaten (rechter a. carotis externa en linker a. carotis interna) aan het gebied rondom het infarct. Rood = stroomgebied van de rechter a. carotis externa; groen = stroomgebied van de linker a. carotis interna; blauw = stroomgebied van de a. basilaris.

Schematische tekeningen van de cerebrale stroomgebieden die momenteel door artsen gebruikt worden geven geen zekerheid over de verdeling van de territoria bij de individuele patiënt.

Schematische tekeningen van de cerebrale stroomgebieden die momenteel gebruikt worden zijn gebaseerd op standaardatlassen en geven daarom geen zekerheid over de verdeling van de territoria bij de individuele patiënt. Om de locatie van een stroomgebied nauwkeuriger te weten moet men haar visualiseren. We concluderen dat de wisselwerking tussen ernst van vernauwing, meervoudig vaatlijden en vasculaire anatomie de locatie en de uitbreiding van de cerebrale stroomgebieden bepaalt. Om bij individuele patiënten focale hersenlaesies te relateren aan cerebrale stroomgebieden is kennis van de territoriale verdeling essentieel.

Utrecht, 4 september 2007

Dr. P.J. van Laar,
Afdeling Radiologie UMCU

Promotor:
Prof.dr. W.P.Th.M. Mali, afdeling Radiologie UMCU

Copromotoren:
Dr. J. van der Grond, afdeling Radiologie LUMC
Dr. J. Hendrikse, afdeling Radiologie UMCU

Literatuur

- 1 Duret H. Recherches anatomiques sur la circulation de l'encephale. Arch Physiol Norm Pathol 1874;60-90:316-53.
- 2 Beevor CE. The cerebral arterial supply. Brain 1908;30:403-25.
- 3 Salamon G. Atlas of arteries of the human brain. Paris: Sandoz editions, 1971.
- 4 Berman SA, Hayman LA, Hinck VC. Correlation of CT cerebral vascular territories with function: 3. Middle cerebral artery. AJR Am J Roentgenol 1984;142:1035-40.
- 5 Hayman LA, Berman SA, Hinck VC. Correlation of CT cerebral vascular territories with function: II. Posterior cerebral artery. AJR Am J Roentgenol 1981;137:13-9.
- 6 Berman SA, Hayman LA, Hinck VC. Correlation of CT cerebral vascular territories with function: I. Anterior cerebral artery. AJR Am J Roentgenol 1980;135:253-7.
- 7 Damasio H. A computed tomographic guide to the identification of cerebral vascular territories. Arch Neurol 1983;40:138-42.
- 8 Kretschmann HJ, Weinrich W. Neuroanatomy and cranial computed tomography. Stuttgart: George Thieme, 1986.
- 9 Van der Zwan A, Hillen B, Tulleken CAF, Dujovny M, Dragovic L. Variability of the territories of the major cerebral arteries. J Neurosurg 1992;77:927-40.
- 10 Van der Zwan A, Hillen B, Tulleken CAF, Dujovny M. A quantitative investigation of the variability of the major cerebral arterial territories. Stroke 1993;24:1951-9.
- 11 Krabbe Hartkamp MJ, Grond J van der, Leeuw FE de, et al. Circle of Willis: morphologic variation on three-dimensional time-of-flight MR angiograms. Radiology 1998;207:103-11.
- 12 Fine Edelstein JS, Wolf PA, O'Leary DH, et al. Precursors of extracranial carotid atherosclerosis in the Framingham Study. Neurology 1994;44:1046-50.
- 13 Zhu CZ, Norris JW. Role of carotid stenosis in ischemic stroke. Stroke 1990;21:1131-4.
- 14 Liebeskind DS. Collateral circulation. Stroke 2003;34:2279-84.
- 15 Provenzale JM, Jahan R, Naidich TP, Fox AJ. Assessment of the patient with hyperacute stroke: imaging and therapy. Radiology 2003;229:347-59.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.