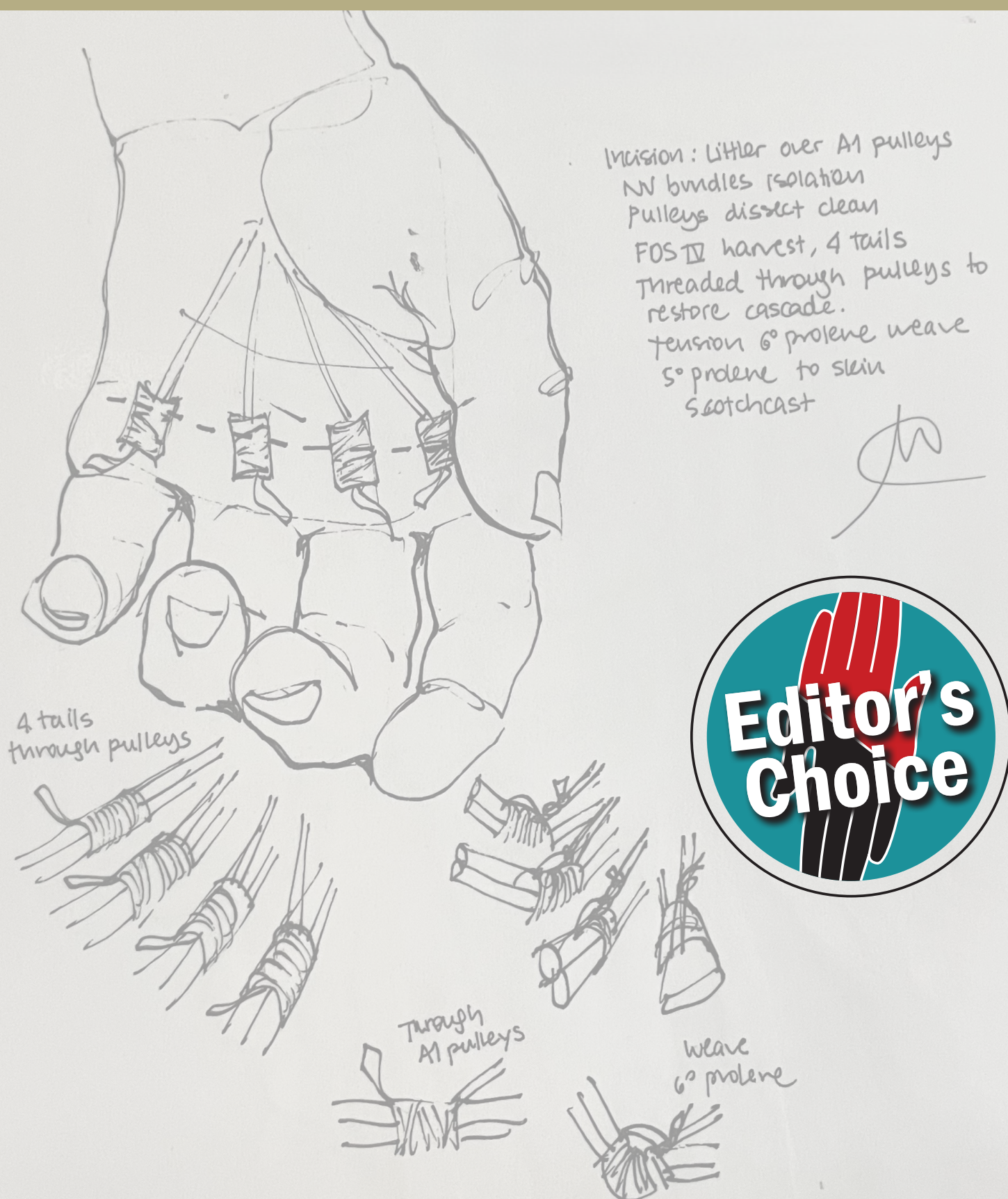




Reconstructieve chirurgie na traumatisch zenuwletsel



Na een traumatisch zenuwletsel blijven, ondanks adequaat herstel van de zenuw, vaak blijvende functionele beperkingen bestaan. Traditioneel worden aanvullende procedures zoals peestransposities toegepast. Hoewel deze ingrepen een verbetering van de functie kunnen bieden, brengen zij ook duidelijke nadelen en beperkingen met zich mee.¹ Zenuwtransfers hebben het reconstructieve arsenaal aanzienlijk uitgebreid. Deze technieken maken het mogelijk om, zowel primair als in tweede instantie, functies directer en vaak fysiologischer te herstellen. Dit artikel geeft een overzicht van de indicaties en rol van zenuwtransfers en hybride reconstructies bij traumatisch zenuwletsel van de bovenste extremiteit.

Door Dr. M. Baas, Dr. J.M. Zuidam, Dr. C.A. Hundepool, E.M. Eijffinger, Dr. L.S. Duraku



Keywords: Nerve Transfer; Hand Deformities, Acquired; Trauma, Nervous System, Rehabilitation

Introductie

Traumatische zenuwletsels van de bovenste extremiteit komen relatief vaak voor. Een studie uit de Verenigde Staten liet zien dat 2,6% van alle letsels aan de bovenste extremiteit een zenuwletsel betreft.¹ De primaire behandeling bestaat doorgaans uit een microchirurgisch zenuwherstel, maar dit geeft slechts beperkte functionele resultaten. In een meta-analyse werd voor sensibel herstel van de nervus medianus en nervus ulnaris slechts respectievelijk 44% en 41% herstel gezien; voor motorisch herstel waren deze percentages 61% en 45%.² Deze resultaten worden beïnvloed door de leeftijd van de patiënt, de tijd tot herstel en met name de locatie van het letsel, en daarmee de afstand tot de betrokken eindorganen (spieren en huid). Door het trage regeneratieproces duurt het vaak te lang voordat een zenuw zijn eindorganen opnieuw bereikt, waardoor doelspieren niet meer in staat zijn hun normale functie te hervatten.³

Wanneer de functie na primair zenuwherstel niet terugkomt, kunnen aanvullende reconstructieve ingrepen nodig zijn om de handfunctie te herstellen. Klassiek wordt dan gekozen voor peestransposities om verloren motorische

Traumatische zenuwletsels van de bovenste extremiteit komen relatief vaak voor

functies te reconstrueren.^{4,5} Hierbij wordt de insertie van een pees met een misbare functie verplaatst naar een andere spier om zo een verloren beweging te herstellen. Peestransposities hebben echter duidelijke nadelen: de omgezette pezen hebben vaak niet dezelfde excursie of kracht als de oorspronkelijke spier, een getransponeerde spier verliest kracht ten opzichte van haar oorspronkelijke functie, geïsoleerde controle van de nieuwe motoriek is soms moeilijk aan te leren en een peestranspositie kan slechts één functie herstellen, omdat slechts één motor beschikbaar is.

Zenuwtransfers bieden een aanvulling en mogelijk een alternatief voor peestransposities. Bij een zenuwtranspositie wordt een zenuw met een misbare functie aangesloten op een zenuw die een uitgevallen spier aanstuurt.^{3,6,7} In tegenstelling tot een peesomzetting wordt hiermee de oorspronkelijke spier opnieuw geïnnerveerd. Hoewel zenuwtransfers al langer worden toegepast binnen de plexus-brachialis-chirurgie, werden zenuwtransfers aanvankelijk minder gebruikt bij perifere zenuwletsels.^{8,9} De laatste jaren is echter duidelijk meer aandacht ontstaan voor deze interventies. Beschikbare data suggereren dat

zenuwtransfers vergelijkbare kracht kunnen opleveren als peestransposities, maar met betere controle en functionele balans doordat de originele spier behouden blijft.^{7,10-13}

Het belangrijkste verschil met peestransposities is dat zenuwtransfers alleen kunnen worden toegepast wanneer er nog vitale motorische eindplaten in de aangedane spier aanwezig zijn. Hierdoor bestaat slechts een beperkte tijdsperiode waarin deze operatie effectief kan worden uitgevoerd. Daarnaast is het herstel na een zenuwtransfer aanzienlijk langer, omdat de aangedane spieren opnieuw geïnnerveerd moeten worden. Functioneel herstel is vaak pas zichtbaar na zes maanden of langer, terwijl peestransposities doorgaans sneller een functioneel resultaat geven. Omdat het chirurgische palet aan reconstructieve mogelijkheden na zenuwletsel de afgelopen decennia sterk is veranderd, is het voor de behandelaar essentieel om de indicaties, timing en beperkingen van deze nieuwe technieken goed te kennen. In dit artikel bespreken we de rol van zenuwtransfers en hybride reconstructies bij traumatisch zenuwletsel van de bovenste extremiteit, met nadruk op praktische indicatiestelling en keuze van passende reconstructieve opties.

Wanneer zenuwherstel en wanneer een zenuwtransfer?

Herstel van een beschadigde zenuw blijft de primaire behandeling. Na een trauma moet het beschadigde deel van de zenuw worden verwijderd en de zenuw microchirurgisch worden hersteld. Dit is de aangewezen behandeling voor zowel functioneel herstel, als preventie van pijn door het verminderen op het ontstaan van een pijnlijk neuroom. Bij uitgebreide beschadiging is het soms noodzakelijk een zenuwgraft te gebruiken, omdat de zenuw niet meer primair kan worden gehecht. Een graft is een zenuwinterpunctaat - een donorzenuw van de patiënt zelf - dat tussen de uiteinden van de aangedane zenuw wordt geplaatst. Het herstel na het gebruik van een graft is echter minder voorspelbaar en doorgaans slechter dan na primair herstel, waarbij bovendien de lengte van de graft een negatief effect heeft op het uiteindelijke resultaat.³ Een zenuwtransfer kan direct worden uitgevoerd wanneer de kans op reïnnervatie van een spier na herstel minimaal is. Een klassiek voorbeeld is hoog letsel van de nervus ulnaris in de bovenarm: de afstand tot de intrinsieke handspieren is zo groot dat door het trage regeneratieproces van de zenuw geen functioneel herstel te verwachten is, ongeacht het tijdstip van opereren.¹² Ook bij uitgebreide beschadiging van de zenuw, waarbij een lange graft noodzakelijk zou zijn en slechts matig tot slecht herstel verwacht kan worden, kan direct worden gekozen voor een zenuwtransfer.

Dit concept wordt weergegeven in **figuur 1**. Op de x-as staat de tijd na operatie; op de linker y-as de hoeveelheid beschikbare motorische eindplaten, en op de rechter y-as het moment waarop de regenererende zenuwvezels deze eindplaten kunnen bereiken. De beschikbare motorische eindplaten nemen af naarmate de spier langer gedeneveerd is; uiteindelijk blijven er onvoldoende eindplaten over om de spier effectief te reïnnervieren.¹⁴ Bij een hoog ulnarisletsel is op dit diagram te zien dat de fascicels pas bij de intrinsieke handspieren aankomen wanneer de motorische eindplaten al ernstig gedegradieerd zijn. In deze

situatie kan een directe zenuwtransfer ervoor zorgen dat de intrinsieke spieren wél tijdig worden geïnnerveerd, zoals schematisch weergegeven in **figuur 2**.

Een zenuwtransfer kan ook in een latere fase worden uitgevoerd. Dit kan bijvoorbeeld wanneer bij het initiële letsel de ernst van de schade niet duidelijk was, of wanneer de patiënt niet goed geïnformeerd of niet direct behandelbaar was. In het beloop na een direct herstel kan alsnog worden besloten tot een zenuwtransfer, met name wanneer een lange graft is gebruikt of wanneer de afstand tot de doelorganen groot is, waardoor de kans op functioneel herstel beperkt blijft.

Wanneer een zenuwtransfer in een latere fase wordt overwogen, moet rekening worden gehouden met het progressieve verval van motorische eindplaten in de aangedane spieren. Hoewel het ideale moment voor een zenuwtransfer zo vroeg mogelijk is, kan een zenuwtransfer binnen zes tot negen maanden nog uitgevoerd worden. Daarnaast is het belangrijk te realiseren dat door mogelijke anatomische varianten de functionele uitval na een hoog zenuwletsel kleiner is dan op basis van het letsel verwacht zou worden. Een voorbeeld hiervan is een Martin-Gruber-anastomose, waar motorische vezels van de nervus medianus naar de nervus ulnaris verlopen in de onderarm. Een zenuwtransfer kan daardoor niet nodig zijn.

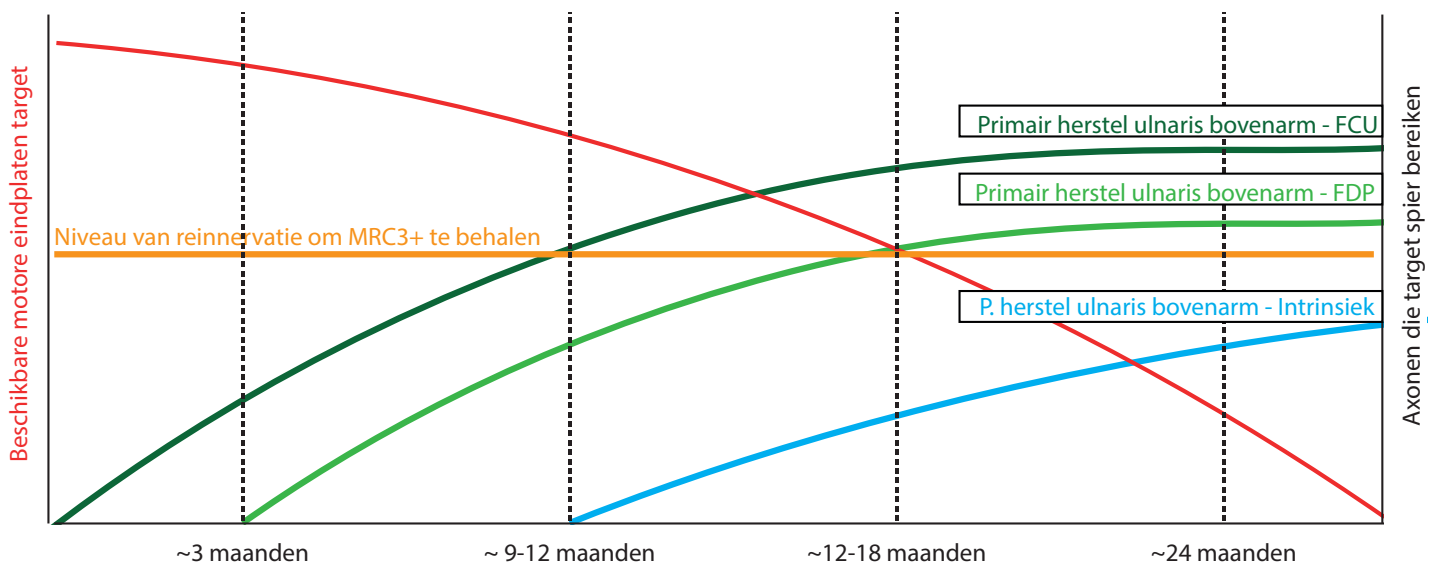
Hybride reconstructies

Hybride reconstructies zijn procedures waarin zowel peestransposities als een zenuwtransfer verricht worden. In **figuur 3** is per tijdseenheid weergegeven welke opties voor functionele reconstructies er zijn bij zenuwletsel. Het voordeel van een hybride reconstructie is dat voordelen van zenuw- en peestransposities gecombineerd kunnen worden. Een goed voorbeeld hiervan is het directe effect van een pronator teres naar extensor carpi radialis brevis (PT-ECRB) transfer bij radialis uitval gecombineerd met een reïnnervatie van de posterior interosseus nerve (PIN) met een zenuwtranspositie: de peestranspositie geeft direct een betere stand van de pols ('internal brace'), de zenuwtranspositie geeft de fijne motorische controle over de verschillende vinger- en duimextensoren.

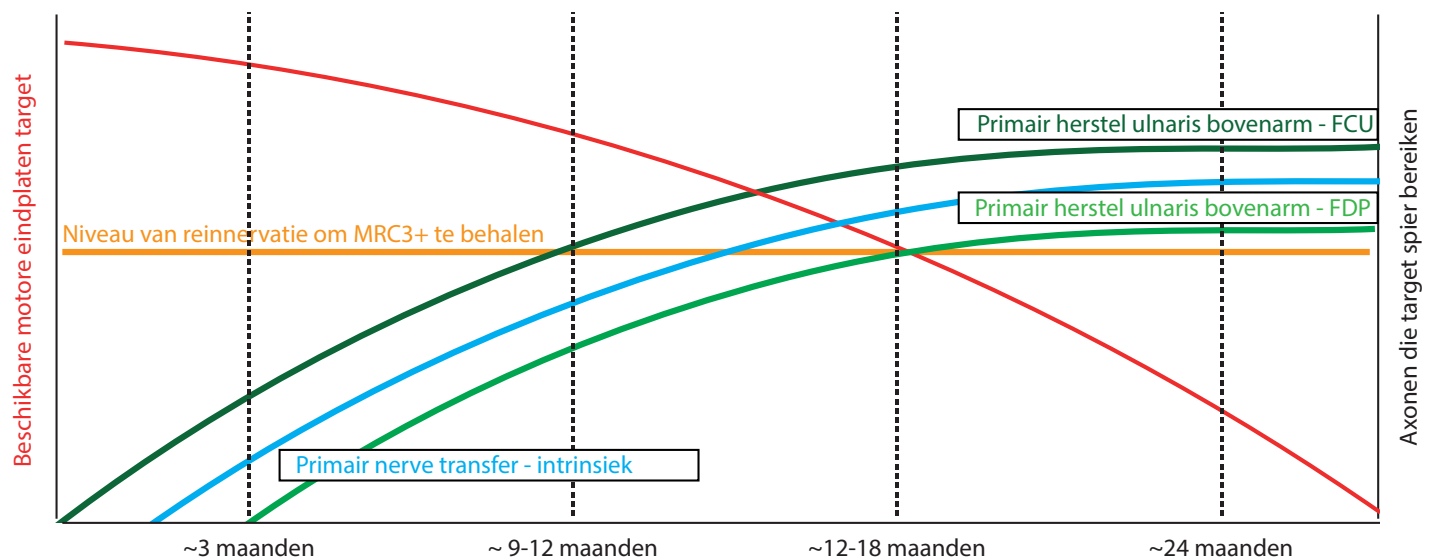
Letsels van de nervus ulnaris

Een nervus ulnarisletsel kan ook worden onderverdeeld in hoge en lage letsels. Hoge letsels leiden tot uitval van de flexor carpi ulnaris (FCU), FDP van ringvinger en pink en volledige intrinsieke spierparalyse. De pincetkracht neemt sterk af door uitval van de adductor pollicis en eerste dorsale interosseus. In een hoog letsel is de disbalans minder uitgesproken waardoor er acuut vaak een minder uitgesproken klauwhand ontstaat. Na herstel van het letsel, bij reïnnervatie van de FDP's zonder reïnnervatie van de intrinsieken, kan dit alsnog secundair optreden. Lage letsels veroorzaken de typische ulnaire klauwstand door verlies van intrinsieke spierfunctie met behoud van de extrinsieke flexoren, resulterend in MCP-hyperextensie en PIP/DIP-flexie van ring en pink. Lage letsels hebben direct een grotere kans op een klauwhand, maar hierbij hebben de intrinsieken wel een kans op succesvolle reïnnervatie. Bij hoog letsel is nauwelijks herstel van intrinsieke spierkracht te verwachten.

**Voor de
behandelaar
is het
essentieel
om de indica-
ties, timing
en beper-
kingen van
nieuwe tech-
nieken goed
te kennen**



Figuur 1 Conceptuele weergave van motorische reinnervatie na herstel van de nervus ulnaris proximaal van de elleboog. Op de x- as staat de tijd na herstel, op de linker y-as de beschikbare motor eindplaten in de spier, op de rechter y-as het aantal axonen wat aankomt over tijd.

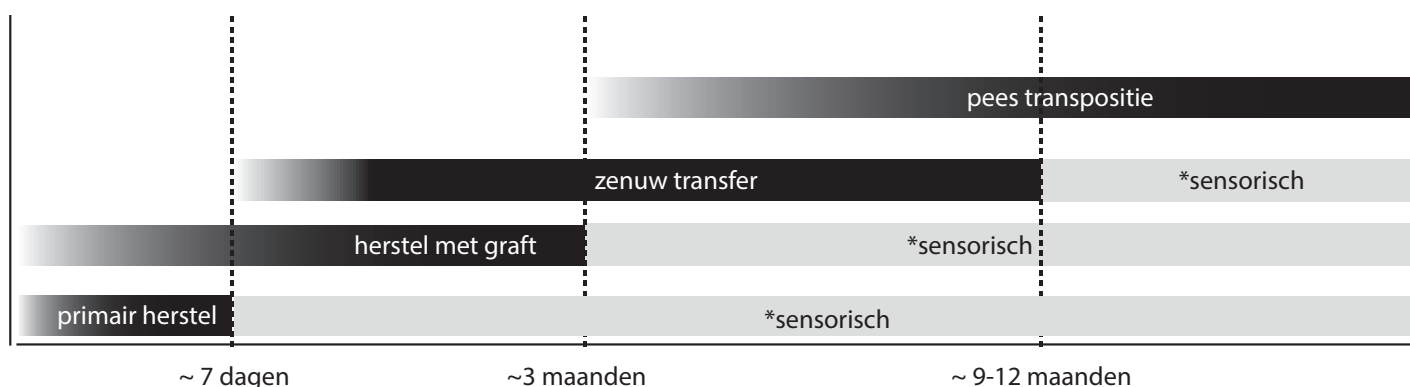


Figuur 2 Conceptuele weergave van motorische reinnervatie na herstel van de nervus ulnaris proximaal van de elleboog, met een distale zenuwtransfer ter reconstructie van de intrinsieke handfunctie (bijvoorbeeld AIN – motore tak ulnaris). Op de x- as staat de tijd na herstel, op de linker y-as de beschikbare motoreindplaten in de spier, op de rechter y-as het aantal axonen wat aankomt over tijd.

Waar FDP-functie met een side-to-side transpositie op te vangen is, zijn pinchgrip reconstructie en de intrinsieke disbalans lastiger te reconstrueren door de delicate balans van de verschillende intrinsieke spiergroepen. Multiële statische en dynamische antiklauw correcties zijn beschreven, maar kennen risico op zowel over- als ondercorrectie van de klauwstand. Pincetgriepreconstructies zijn ook beschreven middels peestransposities, zoals extensor carpi radialis brevis (ERCB) naar adductor insertie op de duim en een verlengde Adductor pollicis longus (APL) naar insertie van de eerste dorsale interosseus. Deze procedures zijn minder populair, mede door de niet natuurlijke route en de peesgraft die gebruikt moet worden. Zenuwtransfers zijn veelbelovend om een betere pincetgriepreconstructie te realiseren. Een voorbeeld is de anterior interosseus nerve (AIN) transfer, waarbij je de distale AIN die

de pronator quadratus innerveert omzet naar de motore tak van de nervus ulnaris, zie ook **figuur 4**.^{5,7,12,13,15} Deze transfer werkt goed voor de ulnaire intrinsieken en dus voor het verbeteren van de mogelijke klauwstand. Helaas werkt deze transfer maar beperkt voor pincetgriepreinnervatie. Een aanvullende zenuwtransfer waarbij de motore tak naar de musculus opponens pollicis (medianus geïnnerveerd) naar de terminale tak van de nervus ulnaris wordt getransponeerd, is veelbelovend.¹³ Hiermee wordt de pinchgrip hersteld door reinnervatie van de adductor pollicis en de eerste dorsale interosseus.

Voor een hoog ulnarisletsel kan daarmee een hybride reconstructie gerealiseerd worden middels herstel van de ulnaris met een graft, side to side peestransfer van de FDP en distale zenuwtransfers voor intrinsieke functie en pinch reinnervatie.



Figuur 3 Reconstructieve opties afhankelijk van de tijd sinds letsel (x-as).

Letsels van de nervus medianus

Letsels van de nervus medianus kunnen worden onderverdeeld in hoge en lage letsels. Hoge letsels bevinden zich proximaal van de aftakking van de anterior interosseous nerve (AIN) ter hoogte van de elleboog. Functioneel leidt een hoog medianusletsel tot verlies van pronatiekracht, verstoorde flexie van wijs- en middelvinger en verminderde flexie en oppositie van de duim.^{16,17}

Klassiek wordt een hoog medianusletsel behandeld met een brachioradialis–flexor pollicis longus (BR–FPL) pees transpositie, aangevuld met een oppositieplastiek. Voor vingerflexie kunnen de door de n. medianus geïnnerveerde diepe vingerflexoren (FDP's) side-to-side worden gehecht aan de ulnaris-geïnnerveerde FDP's. Deze techniek biedt een goede excursie, maar levert niet altijd een krachtige vuist, omdat de oppervlakkige flexoren (FDS) en de medianus-geïnnerveerde diepe FDP's hierbij geen actieve bijdrage kunnen leveren.^{5,18}

Met een hybride reconstructie kan het functionele verlies bij medianusletsels verder worden beperkt. Een zenuwtranspositie van een motorische tak uit de supinator naar de motorische tak van de oppervlakkige vingerflexoren kan het krachtverlies verminderen dat optreedt wanneer uitsluitend pees transposities voor de diepe flexoren worden gebruikt.

Daarnaast kan een motorische tak van de extensor carpi radialis brevis (ECRB) naar de AIN worden overgezet ter reïnnervatie van de FPL. Deze transfer geeft een meer natuurlijke en beter gecoördineerde FPL-functie dan een klassieke BR-transpositie.⁵

Distaal kan de motorische tak naar de hypothenar worden getransponeerd om de thenar te reïnnervieren. Deze transfer heeft een korte re-innervatieafstand, is betrouwbaar en synergistisch, en leidt tot beter gecoördineerde oppositie dan bijvoorbeeld een EIP-transpositie. Bovendien maakt een zenuwtranspositie het mogelijk om de gehele thenar te reïnnervieren, in plaats van alleen de opponensfunctie te reconstrueren met een pees transfer.

Een vaak onderschatte component van hoge medianusletsels is het verlies van discriminatieve sensibiliteit van de top van de duim en wijsvinger. Recent onderzoek toont dat sensibele zenuwtransfers van de radial sensory nerve (RSN) naar de medianus-geïnnerveerde digitaal zenuwen goede klinische resultaten geven.^{2,7,10,19–21}

Zenuwtransfers zijn een waardevolle aanvulling in de behandeling van traumatisch zenuwletsel

Letsels van de nervus radialis

In het geval van nervus radialisletsel ontstaat de zogeheten 'dropping hand'. Klassiek is de triple pees transfer, een zeer betrouwbare en bevredigende functionele reconstructie. Hierbij worden drie pees transfers gebruikt voor polsextensie, vingerextensie en duimextensie. Hiervoor bestaan verschillende donor–acceptorcombinaties, zoals de pronator teres naar extensor carpi radialis brevis transfer (PT-ECRB), de flexor carpi radialis naar extensor digiti communis transfer (FCR-EDC) en de palmaris longus naar extensor pollicis longus transfer (PL-EPL).^{5,22–24}

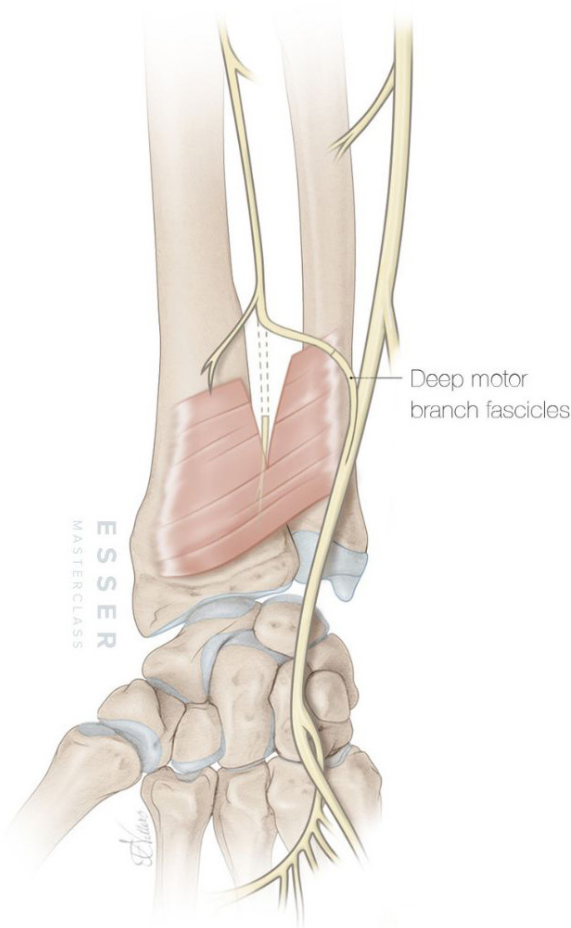
Bij deze patiënten kan ook een hybride reconstructie worden toegepast. Hierbij kan een PT-ECRB pees transfer onmiddellijke polsondersteuning bieden, terwijl aanvullend zenuwherstel naar dezelfde spier toekomstige krachtverbetering mogelijk maakt, zie ook **figuur 5**. Ten behoeve van onafhankelijke vingerextensie kan gekozen worden voor een motor fascikel FCR-naar-PIN zenuwtransfer. Voor duimextensie kan er ook een meer directe zenuwtransfer (distale AIN naar motore tak van de EPL) overwogen worden.^{11,25,26}

Revalidatie functionele zenuwreconstructies

Gezien de vele opties die hierboven beschreven zijn, is een goede overdracht van chirurg naar het revalidatieteam van essentieel belang. Grofweg kan je de revalidatie na indicatiestelling opdelen in zes fases: preoperatieve educatie en training (1 tot 12 weken), beschermingsfase (0-3 weken), stille herstelfase (3 weken tot 6 maanden, MRC 0-1), re-educatie fase (de fase waarin de plasticiteit van het brein de nieuwe beweging eigen moet gaan maken, MRC 1-2) en de fases van het opbouwen van kracht (MRC 2-3) en uithoudingsvermogen (> MRC 3).^{27,28}

De preoperatieve fase bestaat uit zowel educatie over postoperatief herstel en het revalidatieprotocol, als het behoud van beweeglijkheid van de aangedane gewrichten. Daarnaast kan therapie gericht worden op het versterken van musculatuur gerelateerd aan de donorzenuw. Motor imagery training en/of spiegeltherapie kan in deze fase al ingezet worden ter stimulatie van een nieuwe representatie op de motorische cortex. Deze therapie kan worden gecontinueerd tot en met de fase van opbouwen van kracht en uithoudingsvermogen (MRC 3).

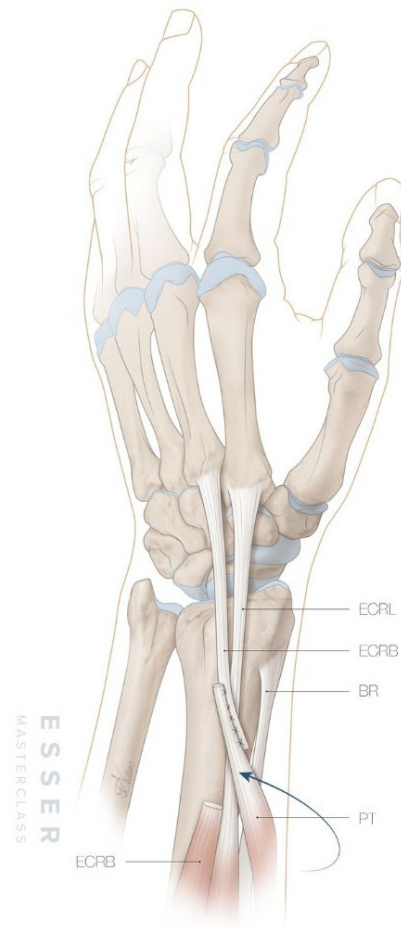
In de beschermende fase, direct na de operatie, zit het gebied waarbinnen de transfer heeft plaatsgevonden in



Figuur 4 Illustratie van AIN-transfer naar motore tak van n. Ulnaris. De anterior interosseous nerve wordt vrijgeprepareerd uit de pronator quadratus en end-to-end aangesloten op het motore deel van de n. Ulnaris.

het gips. De duur van immobilisatie is locatie-afhankelijk, maar ook afhankelijk van begeleidende ingrepen zoals in een hybride reconstructie. Therapie in deze fase is gericht op oedeem preventie en verdere motor imagery training om de corticale reorganisatie te stimuleren om de transfer zo snel mogelijk te vinden. Zodra de patiënt uit het gips gaat, start de stille herstelfase. In deze fase is er nog geen functioneel resultaat van de transfer, maar is onder andere therapie nodig ter preventie van contracturen, motor imagery en (continueren) versterken van overgebleven musculatuur gerelateerd aan de donorzenuw. Voor de patiënt kan dit een lastige fase zijn, omdat er langdurig geen resultaat gezien wordt. Dit is ook de fase waarin bij een hybride reconstructie wel al met nieuwe functies geoefend kan worden, wat een positief effect kan hebben op de motivatie van de patiënt.

Afhankelijk van de locatie van de transfer (en daarmee de te verwachten reïnnervatie tijd) start opbouwen van belasting van acht tot zesentwintig weken na de operatie. In deze fase kan naast alle andere technieken die al werden ingezet, een EMG myofeedback van de te reïnnerveren spier een goede visuele feedback geven. In de krachtopbouwende fase wordt geoefend op zowel een opbouw in kracht van MRC 2 naar MRC 3 als op donor-deactivering. Dat wil zeggen selectieve activering van de musculatuur



Figuur 5 Illustratie van PT naar ECRB peestranspositie. Deze peestranspositie kan zowel als deel van een 'triple tendon transfer' uitgevoerd worden (met twee extra peestransposities voor vinger en duimextensie) of als deel van een hybride reconstructie waarbij een motore zenuwtak van de FCR op de PIN gezet kan worden.

gerelateerd aan de ontvangende zenuw. Het belang van donor-deactivering en corticale plasticiteit is belangrijk voor succes op lange termijn.

In de laatste fase ligt de focus op het opbouwen van uithoudingsvermogen en het ondersteunen van de terugkeer naar functionele activiteiten. Wanneer patiënten deelnemen aan activiteiten die voor hen betekenisvol zijn, is de kans groter dat ze deze activiteiten in hun dagelijkse routine integreren.

Conclusie

Zenuwtransfers zijn een waardevolle aanvulling in de behandeling van traumatisch zenuwletsel. Ze kunnen als losstaande behandeling worden uitgevoerd, of als aanvullende behandeling bij de reeds bekende peestransposities. In deze hybride vorm van reconstructie versterken de pees en zenuwtransposities elkaar. Het succes van deze functionele reconstructies hangt sterk af van het tijdig (h) erkennen dat primair herstel onvoldoende resultaat zal geven of dat blijvend functieverlies bestaat. Een goede samenwerking tussen chirurg en revalidatieteam is daarbij cruciaal om de juiste indicatie te stellen en het maximale functionele herstel voor de patiënt te bereiken.

Acknowledgements

Dit artikel is geschreven vanuit het Academisch Zenuwcentrum Amsterdam – Rotterdam. Het Academisch Zenuwcentrum is een samenwerking tussen het Amsterdam Universitair Medisch Centrum en het Erasmus Medisch Centrum met als doel het verbeteren van de behandeling van complexe perifere zenuwpathologie. Alle auteurs zijn beschikbaar voor verwijzing of collegiaal overleg.



Conflict of interest

Elke auteur verklaart dat hij of zij geen conflict of interest heeft in relatie tot het ingezonden artikel ■

Auteurs:

- **Dr. M. Baas, MD, PhD;** Afd. Plastische, Reconstructieve & Handchirurgie Amsterdam UMC, Amsterdam
- **Dr. J.M. Zuidam, MD, PhD;** Afd. Plastische, Reconstructieve & Handchirurgie, Erasmus MC, Rotterdam
- **Dr. C.A. Hundepool, MD, PhD;** Afd. Plastische, Reconstructieve & Handchirurgie, Erasmus MC, Rotterdam
- **Mw. E.M. Eijffinger, CHT-NL, MSc;** Afd. Revalidatiegeneeskunde Amsterdam UMC, Amsterdam
- **Dr. L.S. Duraku, MD, PhD;** Afd. Plastische, Reconstructieve & Handchirurgie Amsterdam UMC, Amsterdam

REFERENTIES

1. Padovano WM, Dengler J, Patterson MM, et al. Incidence of Nerve Injury After Extremity Trauma in the United States. *Hand (N Y)*. Jul 2022;17(4):615-623. doi:10.1177/1558944720963895
2. Ruijs AC, Jaquet JB, Kalmijn S, Giele H, Hovius SE. Median and ulnar nerve injuries: a meta-analysis of predictors of motor and sensory recovery after modern microsurgical nerve repair. *Plast Reconstr Surg*. Aug 2005;116(2):484-94; discussion 495-6. doi:10.1097/01.prs.0000172896.86594.07
3. Dahlin LB, Wiberg M. Nerve injuries of the upper extremity and hand. *EFORT Open Rev*. May 2017;2(5):158-170. doi:10.1302/2058-5241.2.160071
4. Wilbur D, Hammert WC. Principles of Tendon Transfer. *Hand Clin*. Aug 2016;32(3):283-9. doi:10.1016/j.hcl.2016.03.001
5. Seiler JG, 3rd, Desai MJ, Payne SH. Tendon transfers for radial, median, and ulnar nerve palsy. *J Am Acad Orthop Surg*. Nov 2013;21(11):675-84. doi:10.5435/JAAOS-21-11-675
6. Duraku LS, Hundepool CA, Moore AM, et al. Sensory nerve transfers in the upper limb after peripheral nerve injury: a scoping review. *J Hand Surg Eur Vol*. Sep 2024;49(8):946-955. doi:10.1177/17531934231205546
7. Duraku LS, Chaudhry T, George S, et al. Motor nerve transfers for reconstruction of traumatic upper extremity nerve injuries - a

- scoping review. *JPRAS Open*. Mar 2025;43:581-594. doi:10.1016/j.jpra.2024.01.005
8. Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, Sarcy JJ. Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg Am*. Mar 1994;19(2):232-7. doi:10.1016/0363-5223(94)90011-6
 9. Oberlin C, Ameur NE, Teboul F, Beaulieu JY, Vacher C. Restoration of elbow flexion in brachial plexus injury by transfer of ulnar nerve fascicles to the nerve to the biceps muscle. *Tech Hand Up Extrem Surg*. Jun 2002;6(2):86-90. doi:10.1097/00130911-200206000-00007
 10. Soldado F, Bertelli JA, Ghizoni MF. High Median Nerve Injury: Motor and Sensory Nerve Transfers to Restore Function. *Hand Clin*. May 2016;32(2):209-17. doi:10.1016/j.hcl.2015.12.008
 11. Bertelli JA. Nerve Versus Tendon Transfer for Radial Nerve Paralysis Reconstruction. *J Hand Surg Am*. May 2020;45(5):418-426. doi:10.1016/j.jhsa.2019.12.009
 12. Bertelli JA. Reconstructing Pinch Strength after Ulnar Nerve Injury by Transferring the Opponens Pollicis Motor Branch. *Plast Reconstr Surg*. Aug 1 2024;154(2):351-361. doi:10.1097/PRS.00000000000010993
 13. Arami A, Bertelli JA. Effectiveness of Distal Nerve Transfers for Claw Correction With Proximal Ulnar Nerve Lesions. *J Hand Surg Am*. Jun 2021;46(6):478-484. doi:10.1016/j.jhsa.2020.10.015
 14. Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *Int J Mol Sci*. Nov 17 2020;21(22):doi:10.3390/ijms21228652
 15. Bertelli JA, Soldado F, Rodrigues-Baeza A, Ghizoni MF. Transferring the Motor Branch of the Opponens Pollicis to the Terminal Division of the Deep Branch of the Ulnar Nerve for Pinch Reconstruction. *J Hand Surg Am*. Jan 2019;44(1):9-17. doi:10.1016/j.jhsa.2018.09.010
 16. Duraku LS, Schreuders TAR, Power DM, et al. High Median Nerve Paralysis: Is the Hand of Benediction or Preacher's Hand A Correct Sign? *Plast Reconstr Surg Glob Open*. Oct 2022;10(10):e4598. doi:10.1097/GOX.0000000000004598
 17. Bertelli JA, Soldado F, Lehn VL, Ghizoni MF. Reappraisal of Clinical Deficits Following High Median Nerve Injuries. *J Hand Surg Am*. Jan 2016;41(1):13-9. doi:10.1016/j.jhsa.2015.10.022
 18. Isaacs J, Ugwu-Oju O. High Median Nerve Injuries. *Hand Clin*. Aug 2016;32(3):339-48. doi:10.1016/j.hcl.2016.03.004
 19. Schaeffer CV, Menon A, Chambers S, Graf A, Suh N, Gha-reeb P. Radial to Median Sensory Nerve Transfers to Restore Sensate Key Pinch: A Cadaveric Assessment of Size Match and Implications for Transfer. *Microsurgery*. Jan 2025;45(1):e70017. doi:10.1002/micr.70017
 20. Mackinnon SE, Roque B, Tung TH. Median to radial nerve transfer for treatment of radial nerve palsy. Case report. *J Neurosurg*. Sep 2007;107(3):666-71. doi:10.3171/JNS-07/09/0666
 21. Emamhadi M, Haghani Dogahe M, Emamhadi A. Distal Nerve Transfer for Opponensplasty in the Setting of High Median Nerve Injury: A Case Series. *Adv Orthop*. 2025;2025:8481129. doi:10.1155/aort/8481129
 22. Lowe JB, 3rd, Tung TR, Mackinnon SE. New surgical option for radial nerve paralysis. *Plast Reconstr Surg*. Sep 1 2002;110(3):836-43. doi:10.1097/00006534-200209010-00019
 23. Lieberdorfer A, Shivakumar N, Stonner MM, et al. Expectant Management, Tendon Transfer, or Nerve Transfer Surgery for Radial Nerve Injury: A Qualitative Study Exploring Patient Expectations, Goals, and Treatment Experiences. *J Bone Joint Surg Am*. Apr 19 2023;105(8):600-606. doi:10.2106/JBJS.22.01201
 24. Jain NS, Barr ML, Kim D, Jones NF. Tendon Transfers, Nerve Grafts, and Nerve Transfers for Isolated Radial Nerve Palsy: A Systematic Review and Analysis. *Hand (N Y)*. May 2024;19(3):343-351. doi:10.1177/15589447221150516
 25. Bertelli JA, Nehete S, Winkelmann Duarte EC, Ghizoni MF. Transfer of the Distal Anterior Interosseous Nerve for Thumb Motion Reconstruction in Radial Nerve Paralysis. *J Hand Surg Am*. Sep 2020;45(9):877 e1-877 e10. doi:10.1016/j.jhsa.2020.02.011
 26. Bertelli JA. Transfer of the radial nerve branch to the extensor carpi radialis brevis to the anterior interosseous nerve to reconstruct thumb and finger flexion. *J Hand Surg Am*. Feb 2015;40(2):323-328 e2. doi:10.1016/j.jhsa.2014.10.060
 27. Larocerie-Salgado J, Chinchalkar S, Ross DC, Gillis J, Doherty CD, Miller TA. Rehabilitation Following Nerve Transfer Surgery. *Tech Hand Up Extrem Surg*. Jun 1 2022;26(2):71-77. doi:10.1097/BTH.0000000000000359