

# Neurochirurgische dilemma's bij traumatisch hersenletsel

## Neurosurgical dilemma's in traumatic brain injury

T.A. van Essen<sup>1</sup>, dr. G.C.W. de Ruiters<sup>2</sup>, H.F. den Boogert<sup>3</sup>, V. Volovici<sup>4</sup>, prof. dr. em. A.I. Maas<sup>5</sup>, prof. dr. W.C. Peul<sup>6</sup>

### SAMENVATTING

Traumatisch hersenletsel gaat gepaard met een hoge mortaliteit. Bij diegenen die overleven, kan het een grote weerslag hebben op de kwaliteit van leven door de resterende lichamelijke, cognitieve of psychosociale beperkingen. Neurochirurgische interventies kunnen bij bepaalde patiënten met traumatisch hersenletsel de mortaliteit en morbiditeit reduceren. De neurochirurgische indicatiestelling is echter onduidelijk en de huidige bewijskracht voor deze interventies is laag. Als gevolg varieert de zorg voor traumatisch hersenletsel tussen neurochirurgen en voor een deel zijn de oorzaken van deze praktijkvariatie onbekend. Recente en net opgezette studies veranderen in een relatief korte tijd de bewijskracht. Pragmatisch opgezette studies met een zogenoemd 'comparative effectiveness'-design zijn het meest veelbelovend om de bewijskracht te verhogen.

(TIJDSCHR NEUROL NEUROCHIR 2018;119(2):46-51)

### SUMMARY

Traumatic brain injury has a high mortality and those patients that survive often experience long-term disability due to physical, cognitive or psychological deficits. Neurosurgical interventions in traumatic brain injury can cause major reductions in mortality and morbidity. However, the precise indications of surgery in traumatic brain injury are not sufficiently clear. As a consequence, treatment varies among regions, hospitals and neurosurgeons. Recent, current and future research is rapidly changing this uncertainty. Pragmatic studies with a so-called comparative effectiveness design seem to be the most promising to increase the level of evidence in neurosurgical interventions in traumatic brain injury.

<sup>1</sup>neurochirurg i.o., epidemioloog i.o., afdeling Neurochirurgie, Leids Universitair Medisch Centrum, Leiden <sup>2</sup>neurochirurg, afdeling Neurochirurgie, Leids Universitair Medisch Centrum, Leiden <sup>3</sup>neurochirurg i.o., Afdeling Neurochirurgie, Radboudumc, Nijmegen <sup>4</sup>arts-onderzoeker, afdelingen Neurochirurgie en Medische Besliskunde, Erasmus MC, Rotterdam <sup>5</sup>neurochirurg, Afdeling Neurochirurgie, Universitair Ziekenhuis Antwerpen, Universiteit van Antwerpen, Edegem, België <sup>6</sup>neurochirurg, epidemioloog, Neurochirurgisch Coöperatief Holland, Afdeling Neurochirurgie, Leids Universitair Medisch Centrum en Haaglanden Medisch Centrum, Leiden en Den Haag.

Correspondentie graag richten aan: T.A. van Essen, Afdeling Neurochirurgie, Leids Universitair Medisch Centrum, Postbus 9600, 2300 RC Leiden, e-mailadres: T.A.van\_Essen@lumc.nl

Belangenconflict: geen gemeld. Financiële ondersteuning: The European Union seventh Framework Program (grant 602150) voor 'Collaborative European NeuroTrauma Effectiveness Research in Traumatic Brain Injury' en de Hersenstichting Nederland voor 'Neurotraumatology Quality Registry'.

**Trefwoorden:** acuut subduraal hematoom, praktijkvariatie, traumatisch hersenletsel.

**Keywords:** acute subdural hematoma, practice variation, traumatic brain injury.

Ontvangen 16 september 2017, geaccepteerd 23 januari 2018.

## INLEIDING

Bij traumatisch hersenletsel (THL) is een van de grootste uitdagingen in de neurochirurgische zorg om die patiënten te selecteren die effectief en veilig geopereerd kunnen worden. De chirurgische behandeling is gericht op het verwijderen van massa-innemende intracranieële hematomen en op het verlagen van de intracranieële druk. Het doel is om verdere massawerking en transtentoriële herniatië (inklemming) te voorkomen en daarmee de secundaire schade aan het hersenparenchym te beperken. Deze chirurgische decompressie kan bereikt worden door evacuatie van een hematoom, draineren van liquor met een externe ventrikeldrain of door het verwijderen van een deel van de schedel om verhoogde druk door zwelling tegen te gaan.<sup>1</sup>

Deze laatste procedure, een zogenoemde decompressieve craniëctomie (DC), kan in dezelfde zitting worden uitgevoerd als de evacuatie van een hematoom, of later, om intracranieële drukverhoging te behandelen die niet genoeg reageert op conservatieve maatregelen (refractaire intracranieële drukverhoging).

Het merendeel van de spoedneurochirurgie van THL is gericht op het evacueren van hematomen.<sup>2</sup> Naast het relatief weinig voorkomende acute epidurale hematoom (EDH) vormen het acute subdurale hematoom (ASDH) en de contusiehaard, ook wel het traumatische intracerebrale hematoom (TICH) genoemd, de voornaamste klinische uitdagingen. Het ASDH komt voor bij ongeveer 11% van de gehele populatie met THL en bij 49% met ernstig THL.<sup>1,3</sup> Cerebrale contusiehaarden zijn beschreven bij 8% van de hele THL-groep en bij 35% van de groep met ernstig THL.<sup>1</sup> Deze incidenties van contusies zijn een onderschatting, omdat deze afwijkingen vaak tijdens de opname ontwikkelen en omdat sommige (kleinere) contusies niet altijd bij binnenkomst op een CT-scan te zien zijn. Patiënten kunnen zich zeer verschillend presenteren: van milde symptomen zoals hoofdpijn en misselijkheid tot aan een diep-comateuze toestand. De eerste CT-scan die bij binnenkomst wordt gemaakt, kan een verscheidenheid aan intracranieële pathologie laten zien. Zo kunnen beide massalaesies geïsoleerd voorkomen, maar kan het ASDH ook gepaard gaan met een TICH.

In tegenstelling tot de (internationale) consensus over de neurochirurgische behandeling van een EDH, bestaat er heterogeniteit in de besluitvorming over de behandeling van het ASDH, het TICH en refractaire intracranieële drukverhoging.<sup>1</sup> Dit leidt tot aanzienlijke (inter)nationale praktijkvariatie in neurochirurgische zorg. De focus in deze bijdrage ligt op de indicatiestelling en de huidige bewijskracht van deze operatieve interventies.

## FACTOREN DIE DE INDICATIESTELLING BEÏNVLOEDEN

Verschillende variabelen beïnvloeden de keuze en de timing van de neurochirurgische behandeling: patiëntgerelateerde factoren, eerdere ervaringen van de neuroloog en neurochirurg, patiënt- of familievoorkeuren, religieuze en culturele achtergrond, en logistieke overwegingen. Patiëntfactoren zijn het bewustzijn (Glasgow Coma Score), pupilafwijkingen, extracranieële afwijkingen, de ernst van het trauma, structurele afwijkingen op de CT, en comorbiditeit. Een van de belangrijkste factoren lijkt echter de voorkeur van het neurologisch-neurochirurgische centrum te zijn, zoals verderop in dit artikel aan bod komt.

De neurochirurg of neuroloog die voor de beslissing staat wel of niet te (laten) opereren, wordt geconfronteerd met verschillende overwegingen. Evacuatie van een hematoom, al dan niet met benige decompressie, kan overlijden of neurologische schade voorkomen, maar kan ook leiden tot een toename van het aantal patiënten die overleven in een neurologisch ernstig beschadigde toestand.<sup>4</sup> Bovendien lijkt chirurgie niet altijd nodig: een aanzienlijk deel van de conservatief behandelde patiënten heeft zonder operatie een goede functionele uitkomst.<sup>5,6</sup> Andere subgroepen met een massa-innemende laesie hebben dusdanig ernstige primaire hersenschade dat chirurgie überhaupt geen effect zal hebben.<sup>7</sup>

In het algemeen geldt dat een agressief neurochirurgisch beleid tot een toename van het aantal overlevenden met ernstige schade leidt, terwijl een terughoudend beleid tot onnodige sterfgevallen leidt. Maar wanneer een behandeling te agressief of juist te terughoudend is, is lastig te bepalen. De beslissing om wel of niet te opereren is niet alleen gebaseerd op verwachte mortaliteit en neurologisch functioneren, maar ook op ethische overwegingen. Patiënten en familie kunnen een ander perspectief hebben op een zinvol(le) (kwaliteit van) leven dan de medisch-professionele perceptie van een (on)gunstige uitkomst, waarbij deze discrepantie niet zelden beïnvloed wordt door culturele of religieuze standpunten. Soms, als er genoeg tijd en mogelijkheid is om de verwachte uitkomst met de familie te bespreken, kan deze persoonlijke interpretatie van kwaliteit van leven meegenomen worden in de besluitvorming.

## ACTUELE BEWIJSVOERING

Helaas is er weinig krachtig bewijs waar artsen zich op kunnen beroepen. De richtlijn van de Brain Trauma Foundation (BTF), de bekendste en laatste richtlijn voor het chirurgisch behandelen van traumatische intracranieële laesies, is onderbouwd met slechts klasse-3-bewijs (niet-vergelijkende obser-

**TABEL 1.** Recente en toekomstige studies naar neurochirurgie bij traumatisch hersenletsel.

Studie	Patiëntenselectie	Aantal patiënten (beoogd)	Interventie	Controles	Uitkomst	Belangrijkste bevindingen
<b>STITCH (trauma)<sup>12</sup></b>	- Intracerebraal hematoom/ contusiehaard - Gebaseerd op klinische equipose van de neurochirurg	170	Vroege evacuatie van het hematoom	Beste conservatieve behandeling met eventueel latere chirurgische evacuatie	Voor prognose aangepaste GOSE/ Modified Rankin Schaal	- Gestopt tussentijds - Geen significant verschil op de primaire effectiviteitsanalyse - Mortaliteit (secundaire uitkomstmaat) significant lager
<b>DECRA<sup>16</sup></b>	Diffuus THL binnen 72 uur na het trauma	155	Secundaire (bifrontale) DC	Gestandaardiseerde IC-behandeling	GOSE op 6 maanden na het trauma	- Slechtere functionele uitkomst - Geen significant verschil in ongunstige functionele uitkomst (dood, vegetatieve staat of ernstige afhankelijkheid) na post-hoc voor pupilreactiviteit te verdisconteren
<b>RESCUE-ICP<sup>17</sup></b>	Medisch refractaire ICP	408	Secundaire DC	Gestandaardiseerde IC-behandeling	- GOS bij ontslag - GOSE op 6 maanden na het trauma	- Lagere mortaliteit - Hogere proportie ernstige afhankelijkheid (op 6 en 12 maanden)
<b>NET-QuRe en CENTER-TBI</b>	ASDH en/of intracerebrale hematomen/ contusiehaarden	1.000 (ASDH); 750 (contusiehaarden)	Niet-experimenteel CER-design: - directe evacuatie van het hematoom versus conservatief management - primaire DC met hematoomevacuatie versus craniotomie met hematoomevacuatie		GOSE op 6 maanden	- Gestart januari 2015
<b>RESCUE-ASDH</b>	GCS < 8 met een ASDH	990	Primaire DC met hematoom-evacuatie	Craniotomie met hematoom-evacuatie (alleen)	GOSE op 12 maanden	- Gestart september 2014

STITCH = Surgical Trial in Traumatic intraCerebral Haemorrhage; DECRA = Decompressive Craniectomy in Patients with Severe Traumatic Brain Injury; RESCUE-ICP = Randomised Evaluation of Surgery with Craniectomy for Uncontrollable Elevation of Intra-cranial Pressure; NET-QuRe = Dutch Neurotraumatology Quality Registry; CER = comparative effectiveness research; CENTER-TBI = Collaborative European NeuroTrauma Effectiveness Research in TBI; RESCUE-ASDH = Randomised Evaluation of Surgery with Craniectomy for patients Undergoing Evacuation of Acute Subdural Haematoma; DC = decompressive craniectomy; IC = intensive care; ICP = intracranial pressure; GOS(E) = Glasgow Outcome Scale (Extended)

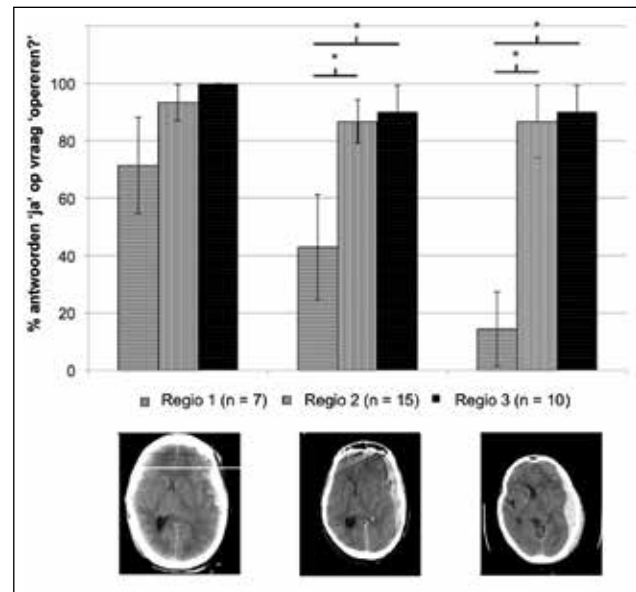
vationele studies) en dateert uit 2006.<sup>1</sup> Deze richtlijn houdt aan dat elk ASDH met een dikte van meer dan 10 mm zo snel mogelijk geëvacueerd moet worden, ongeacht de neurologische toestand van de patiënt. Voor contusiehaarden wordt geadviseerd alle massalaesies te evacueren met een groter volume dan 50 cm<sup>3</sup>. Een ondergrens van 20 cm<sup>3</sup> wordt geadviseerd bij patiënten met een Glasgow Coma Score lager dan 6-8, met een 'midline shift' van minstens 5 mm en/of compressie van de basale cisternen op de CT-scan. Een minderheid van de neurochirurgen houdt zich aan deze

richtlijn; vaak wordt de beslissing genomen op basis van persoonlijke voorkeur en klinische ervaring.<sup>1,8,9</sup> Deze controverse over de indicaties en timing van chirurgie wordt in de literatuur gedeeld.<sup>10</sup>

Sinds het uitkomen van de BTF-richtlijn zijn er nauwelijks studies bijgekomen die hebben bijgedragen aan de indicatiestelling voor evacuatie van het ASDH dan wel TICH (zie Tabel 1). De eerste vergelijkende studie naar de chirurgische evacuatie van het ASDH laat zien dat een agressiever management met betrekking tot evacuatie geassocieerd is met een

betere functionele uitkomst in vergelijking tot een conservatievere houding.<sup>11</sup> Een belangrijke beperking was echter de observationele en retrospectieve opzet van de studie, waardoor het gevonden verschil ook kan liggen in 'confounding'. De 'Surgical Trial in Traumatic intraCerebral Haemorrhage' (STITCH), een internationale, multicenter, pragmatische, gerandomiseerde studie, had als doel de waarde van chirurgie bij patiënten met TICH te onderzoeken.<sup>12</sup> Een TICH wordt soms primair conservatief behandeld en later, indien neurologische achteruitgang optreedt, geopereerd door het gecontusioneerde hersenweefsel weg te halen of door indirecte benige decompressie uit te voeren (unilateraal een ruime benige decompressie, oftewel een DC). De inclusie was gebaseerd op klinische 'equipoise': alleen patiënten van wie de behandelend neurochirurg onzeker was over het voordeel van een van beide behandelingen (vroeg evacuatie versus conservatief beleid) kwamen in aanmerking voor inclusie. De studie ging van start in oktober 2009, maar werd vroegtijdig gestopt door de Britse subsidieverstrekker vanwege te weinig geïncludeerde patiënten. De analyse laat een tendens zien ten gunste van vroeg evacuatie, maar deze is niet significant.<sup>12</sup>

Een interessante en weer in zwang geraakte discussie betreft de besluitvorming rondom de indicatiestelling van DC bij verhoogde intracranieële druk.<sup>1,10,13,14</sup> De procedure kan levensreddend zijn door verlaging van de verhoogde hersendruk, maar is geassocieerd met veelvoorkomende (50%) chirurgische complicaties.<sup>10,15</sup> In het bijzonder zijn dat infarcting (eventueel bij hernatie van parenchym door het defect), hydrocefalus en subdurale effusies, alsmede de noodzaak van een tweede operatie bij de cranioplastiek (terugplaatsen van de botlap), waarbij frequent infecties optreden.<sup>10,14,15</sup> DC is ongeveer een eeuw geleden voor het eerst toegepast. De laatste 2 decennia is het gebruik ervan weer toegenomen ondanks een gebrek aan duidelijk bewijs van effectiviteit en veiligheid.<sup>13</sup> Twee zeer recente trials scheppen wel die context (zie Tabel 1, op pagina 48). De trial 'Decompressive Craniectomy in Patients with Severe Traumatic Brain Injury' (DECRA) uit Australië liet zien dat vroeg toepassing van een bifrontale DC bij matig verhoogde intracranieële druk bij geselecteerde patiënten met diffuse letsels leidt tot slechtere uitkomsten.<sup>16</sup> Recenter liet de trial 'Randomised Evaluation of Surgery with Craniectomy for Uncontrollable Elevation of Intracranial Pressure' (RESCUE-ICP) zien dat als DC gebruikt wordt voor refractaire, ernstig verhoogde intracranieële druk, deze interventie levensreddend kan zijn, maar leidt tot een toename van afhankelijkheid van derden na 6 maanden.<sup>17</sup> Hoewel sommige patiënten na 12 maanden een goede functionele uitkomst hebben, resulteert dat toch in meer overlevenden in een afhankelijke toestand. Het is duidelijk dat de interventie niet uniform effectief is.



**FIGUUR 1.** Regionale variatie bij het opereren versus niet opereren van het acuut subduraal hematoom. Staafdiagram met ja-antwoorden op de vraag of operatie geïndiceerd is (proporties) per hypothetische klinische casus, gestratificeerd naar regio in Nederland en Vlaanderen (regio 1: Tilburg; regio 2: Den Haag/Leiden; regio 3: Leuven). Gepresenteerd op het '11th Symposium of the International Neurotrauma Society' in Boedapest, Hongarije, maart 2014, en tevens in aangepaste vorm gepresenteerd in artikel [18]. De linker casus betreft een 19-jarige vrouw met een bewustzijn van E3M5V1 en isocore lichtreactieve pupillen bij binnenkomst op de Spoedeisende Hulp, en een CT met een linkszijdig acuut subduraal hematoom. De middelste casus is een patiënt met een slechte prognose: 72 jaar, E1M2V1 bij binnenkomst, een niet-reactieve linker pupil en een groot linkszijdig hematoom op de CT. De patiënt van de rechter casus heeft een relatief gunstige prognose: 79 jaar, hoofdpijn als enige klacht en bij neurologisch onderzoek een bewustzijn van E3M6V5 met subtiele rechtszijdige hemiparese.

## PRAKTIJKVARIATIE

Het gebrek aan bewijs leidt tot een opvallende praktijkvariatie in de chirurgie van het ASDH en TICH. Uit een enquête onder Belgische en Nederlandse neurochirurgen kwam naar voren dat er grote variatie bestaat bij twee subgroepen patiënten met een ASDH: (1) patiënten met ernstig THL en 1 of 2 ongunstige prognostische factoren en (2) patiënten met milde symptomen maar een groot hematoom op de CT-scan.<sup>18</sup> In het eerste geval wordt de neurochirurg geconfronteerd met het klinische dilemma of het leven dat gered wordt een zinvol bestaan oplevert. In geval van een ogenschijnlijk asymptomatische patiënt met een groot hematoom - de tweede groep - moeten de risico's van de operatie afgewogen

## AANWIJZINGEN VOOR DE PRAKTIJK

- 1** De uitdaging van wel of niet opereren bij traumatisch hersenletsel ligt in het in korte tijd integreren van de verwachte uitkomst na operatie, en de definitie van deze uitkomst, met de wens van patiënt of familie.
- 2** Clinici kunnen zich voor deze aandoeningen niet beroepen op actuele richtlijnen met een sterke bewijskracht.
- 3** Er is veel variatie in beleid tussen neurochirurgen.
- 4** Recente studies suggereren dat voor het acuut subduraal hematoom en de intracerebrale contusiehaard een vroege operatieve interventie de voorkeur heeft in vergelijking met een initieel conservatieve houding.
- 5** Decompressieve craniëctomie voor refractaire verhoogde intracranieële druk lijkt alleen aangewezen te zijn als ernstige afhankelijkheid van derden als een acceptabele uitkomst wordt gezien.
- 6** Centra worden opgeroepen deel te nemen aan lopende studies.

worden tegen de kans op neurologische achteruitgang. Een opmerkelijke bevinding van deze studie is dat er grote regionale variatie bestaat: dezelfde hypothetische patiënt werd in de ene regio wel geopereerd en in de andere niet (zie *Figuur 1*).

De bijkomende neurochirurgische beslissing is of de evacuatie van het hematoom primair gepaard moet gaan met een soms preventieve DC. De specifieke complicaties van deze ingreep moeten afgewogen worden tegen het risico op het ontstaan van niet conservatief te behandelen, diffuse hersenzwelling. Clinici die een preventieve ingreep bepleiten, beroepen zich op de bevinding dat bij 73% van de patiënten bij wie in tweede instantie een DC wordt verricht, een verhoogde intracranieële druk door een contusiehaard als reden wordt gegeven.<sup>2</sup> In dezelfde enquête blijkt bovendien een aanzienlijke variatie met betrekking tot primaire DC of alleen craniotomie bij patiënten met een ASDH. Deze laatste bevinding is recentelijk bevestigd in een Britse enquête.<sup>19</sup>

Uit een internationale enquête blijkt er ook voor het TICH een opvallende praktijkvariatie te zijn: in sommige landen worden contusies geopereerd om achteruitgang te voorkomen (preventief), terwijl in andere landen wordt afgewacht en slechts zelden patiënten met TICH worden geopereerd.<sup>2,20</sup>

## TOEKOMST

Anno 2017 is er nog geen overtuigende vergelijkende studie opgezet naar de chirurgische behandeling van het ASDH en/of TICH. In de eerdergenoemde samenvattende richtlijn voor ASDH en TICH pleit de BTF voor gedegen onderzoek naar de timing, indicatiestelling en nadelige effecten van chirurgie.<sup>1</sup>

Een verklaring voor de schaarste aan bewijs voor de chirur-

gische behandeling van THL is dat gerandomiseerde studies moeilijk zijn uit te voeren.<sup>21</sup> Voor THL-onderzoek in het algemeen geldt dat door het heterogene patiëntdomein (een grote verscheidenheid aan patiëntkarakteristieken), verschil in uitvoeren van de interventie (bijvoorbeeld neurochirurgie) en relatief kleine patiëntaantallen, klinische trials een enorme investering vergen. Daarbij levert de vraag ‘wel of geen operatie voor een levensbedreigend schedel-hersenletsel?’ weerstand bij artsen op, vanwege ethische dilemma's. Een van de belangrijkste obstakels blijken namelijk de clinici te zijn die niet of nauwelijks bereid zijn patiënten met bijvoorbeeld een ASDH te randomiseren.<sup>18</sup> Het randomiseren van chirurgische strategieën levert dus pragmatische, methodologische en ethische bezwaren op. Maar zelfs als een trial slaagt, heeft deze vaak beperkte externe validiteit, omdat het behandel-effect in een geselecteerde populatie is geëvalueerd. Het gevolg is dat een internationaal, uniform behandelprotocol moeilijk in de dagelijkse klinische praktijk is toe te passen. De gerandomiseerde studies naar verhoogde intracranieële druk, de DECRA- en de STITCH (trauma)-trial, zijn bekende voorbeelden van studies die met de genoemde problemen te kampen hadden.

Een veelbelovend alternatief is ‘comparative effectiveness research’ (CER). Deze opzet wordt pragmatisch genoemd, omdat de focus in studieopzet ligt op haalbaarheid en generaliseerbaarheid.<sup>22,23</sup> Deze kenmerken kunnen soms een probleem zijn voor gerandomiseerde trials. In de veelal observationele studieopzet van CER worden de heterogeniteit en variabiliteit geaccepteerd en gebruikt om de therapeutische effectiviteit te toetsen. De rationale van deze opzet binnen THL wordt extra kracht bijgezet doordat de eerdergenoemde praktijkvariatie gepaard gaat met een onverklaarde

De internationale trial 'Collaborative European NeuroTrauma Effectiveness Research in TBI' (CENTER-TBI) en het nationale onderzoek 'Neurotraumatology Quality Registry' (Net-QuRe) gebruiken het CER-concept. Een van de hoofddoelen is de beschreven klinische vragen voor ASDH en TICH te beantwoorden. In deze studies worden bovendien de waarschijnlijke oorzaken van de praktijkvariatie onderzocht door per patiënt te vragen waarom wel of niet wordt gekozen voor een bepaald beleid.

Wij roepen centra op aan deze studies deel te nemen. Op de websites [www.center-tbi.eu](http://www.center-tbi.eu) en [www.net-quire.nl](http://www.net-quire.nl) is informatie te vinden over de respectievelijke studies.

variatie in uitkomsten tussen centra.<sup>24</sup> Het relateren van deze onverklaarde variatie in uitkomsten aan de bestaande praktijkvariatie vormt daarom een veelbelovende methodologische strategie in het uitdagende THL-onderzoek.

## CONCLUSIE

Traumatische, intracranieële, massa-innemende laesies vormen een therapeutisch dilemma voor de neurochirurg, waarbij als gevolg van het tekort aan bewijs sprake is van praktijkvariatie. De klinische besluitvorming zou geholpen zijn bij krachtiger bewijs. Een eerste stap is dat centra deelnemen aan studies.

## REFERENTIES

1. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, et al. Surgical management of traumatic brain injury. *Neurosurgery* 2006;38:s1-62.
2. Compagnone C, Murray GD, Teasdale GM, et al. The management of patients with intradural post-traumatic mass lesions: a multicenter survey of current approaches to surgical management in 729 patients coordinated by the European Brain Injury Consortium. *Neurosurgery* 2005;57:1183-92.
3. Leitgeb J, Mauritz W, Brazinova A, et al. Outcome after severe brain trauma due to acute subdural hematoma. *J Neurosurg* 2012;117:324-33.
4. Seelig JM, Becker DP, Miller JD, et al. Traumatic acute subdural hematoma: major mortality reduction in comatose patients treated within four hours. *N Engl J Med* 1981;304:1511-8.
5. Mathew P, Oluoch-Olunya DL, Condon BR, Bullock R. Acute subdural haematoma in the conscious patient: outcome with initial non-operative management. *Acta Neurochir* 1993;121:100-8.
6. Servadei F, Nasi MT, Cremonini AM, et al. Importance of a reliable admission Glasgow Coma Scale score for determining the need for evacuation of posttraumatic subdural hematomas: a prospective study of 65 patients. *J Trauma* 1998;44:868-73.
7. Nijboer JMM, van der Naalt J, Duis ten H-J. Patients beyond salvation? Various categories of trauma patients with a minimal Glasgow Coma Score. *Injury* 2010;41:52-7.
8. Rayan N, Barnes S, Fleming N, et al. Barriers to compliance with evidence-based care in trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;72:585-92. discussion 592-3.
9. Gerber LM, Chiu Y-L, Carney N, et al. Marked reduction in mortality in patients with severe traumatic brain injury. *J Neurosurg* 2013;119:1583-90.
10. Servadei F, Compagnone C, Sahuquillo J. The role of surgery in traumatic brain injury. *Curr Opin Crit Care* 2007;13:163-8.
11. Van Essen TA, Dijkman MD, Cnossen MC, et al. Comparative effectiveness of surgery for acute subdural hematoma. Paper presented at the 12th Symposium of the International Neurotrauma Society, February 2-5, 2016 Cape Town, South Africa.
12. Mendelow AD, Gregson BA, Rowan EN, et al. Early surgery versus initial conservative treatment in patients with traumatic intracerebral haemorrhage [STITCH(Trauma)]: the first randomized trial. *J Neurotrauma* 2015;32:1312-23.
13. Wang R, Li M, Gao W-W, et al. Outcomes of early decompressive craniectomy versus conventional medical management after severe traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e1733.
14. Honeybul S, Janzen C, Kruger K, Ho KM. Decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury: is life worth living? *J Neurosurg* 2013;119:1566-75.
15. Yang XF, Wen L, Shen F, et al. Surgical complications secondary to decompressive craniectomy in patients with a head injury: a series of 108 consecutive cases. *Acta Neurochir* 2008;150:1241-7. discussion 1248.
16. Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, et al. Decompressive craniectomy in diffuse traumatic brain injury. *N Engl J Med* 2011;364:1493-502.
17. Hutchinson PJ, Koliakos AG, Timofeev IS, et al. Trial of decompressive craniectomy for traumatic intracranial hypertension. *N Engl J Med* 2016;375:1119-30.
18. Van Essen TA, de Ruiter GC, Kho K, Peul W. Neurosurgical treatment variation of traumatic brain injury - Evaluation of acute subdural hematoma management in Belgium and The Netherlands. *J Neurotrauma* 2017;34:881-9.
19. Koliakos AG, Belli A, Li LM, et al. Primary decompressive craniectomy for acute subdural haematomas: results of an international survey. *Acta Neurochir* 2012;154:1563-5.
20. Murray GD, Teasdale GM, Braakman R, et al. The European Brain Injury Consortium survey of head injuries. *Acta Neurochir* 1999;141:223-36.
21. Maas AI, Roozenbeek B, Manley GT. Clinical trials in traumatic brain injury: past experience and current developments. *Neurotherapeutics* 2010;7:115-26.
22. Maas AI, Menon DK, Lingsma HF, et al. Re-orientation of clinical research in traumatic brain injury: report of an international workshop on comparative effectiveness research. *J Neurotrauma* 2012;29:32-46.
23. Timmons SD, Toms SA. Comparative effectiveness research in neurotrauma. *Neurosurg Focus* 2012;33:E3.
24. Lingsma HF, Roozenbeek B, Li B, et al. Large between-center differences in outcome after moderate and severe traumatic brain injury in the International Mission on Prognosis and Clinical Trial Design in Traumatic Brain Injury (IMPACT) study. *Neurosurgery* 2011;68:601-8.