

Statusartikel

Intrakranielle ventrikulære shunts

Emma Tubæk Nielsen^{1, 2}, Mathias Just Nortvig^{1, 2, 3}, Sune Munthe², Christian Bonde Pedersen^{1, 2, 3}, Frantz Rom Poulsen^{1, 2, 3} & Mikkel Schou Andersen^{1, 2, 3}

1) BRIDGE, Syddansk Universitet, 2) Neurokirurgisk Afdeling, Odense Universitetshospital, 3) Klinisk Institut, Syddansk Universitet

Ugeskr Læger 2024;186:V08230515. doi: 10.61409/V08230515

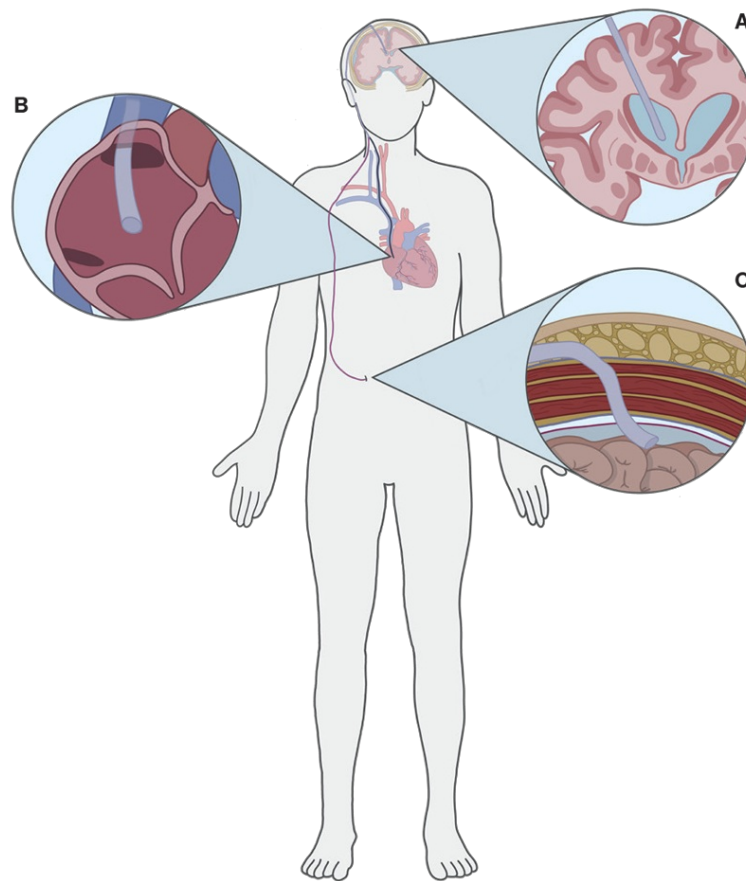
HOVEDBUDSKABER

- Ventrikulær shuntbehandling er forbundet med risiko for komplikationer og dysfunktion, som kan være livstruende.
- Shunt dysfunktion medfører især stillingsbetinget hovedpine, kvalme, opkastninger og/eller bevidsthedspåvirkning.
- Kendskab til shunt dysfunktion er vigtig for rettidig udredning og behandling.

Drænage af cerebrospinalvæske (CSV) ved implantation af et slangesystem er en etableret, neurokirurgisk procedure til behandling af hydrocephalus. Første brug af en permanent shunt blev foretaget af *Mikulicz* i 1891 på et barn med hydrocephalus. Første succesfulde ventrikuloperitoneale (VP) shunt fandt sted i 1908, men metoden fik først indpas i 1950'erne, hvor implantation af trykregulerede systemer blev introduceret. Siden hen er teknikken udvidet til at involvere hjertets forkammer, lungehinder og cerebrale vener [1].

Grundprincippet bag shuntbehandling er normalisering af liquordynamikken ved drænage af CSV fra ventrikelsystemet til det systemiske kredsløb. Returneringen til kredsløbet er hyppigst via peritoneum ved en VP-shunt, eller via hjertets højre atrium ved en ventrikuloatrial shunt (**Figur 1**) [2, 3]. Alternativt kan CSV dræneres til galdeblæren eller til det pleurale rum, eller CSV kan ledes fra det lumbale subaraknoidalrum til peritoneum ved en lumboperitoneal shunt [4]. Shuntanlæggelse benyttes oftest til behandling af hydrocephalus, en lidelse karakteriseret af forstørrede ventrikler grundet uoverensstemmelse mellem CSV-produktion og CSV-absorption, og i begrænset omfang til idiopatisk, intrakraniell hypertension [5, 6].

FIGUR 1 Illustration af ventrikulær shuntplacering samt de hyppigst anvendte shunttyper i Danmark. Shunten starter fra ventrikelsystemets forhorn i hjernen og løber ud gennem kraniets overflade gennem et borehul oftest placeret frontalt på højre side foran sutura coronalis. Herfra løber shunten subkutant til det distale punkt for væskeoptag. Den røde shuntslange illustrerer forløbet af en ventrikuloperitoneal shunt, mens den blå illustrerer forløbet af en ventrikulotrial shunt. **A.** Placering af proksimal shuntkateter i en lateral ventrikel. **B.** Tværsnit gennem højre atrium, der viser shuntens indtræden og placering. **C.** Tværsnit gennem abdominalvæggen, der viser en ventrikuloperitoneal shunts indtræden gennem m. rectus abdominis og peritoneum, hvor ca. 25 cm slange placeres intraperitonealt. Illustratør: Emma Tubæk Nielsen.



Som alt implantationsmateriale kan shunts blive dysfungerende af mekaniske, funktionelle eller infektiøse årsager (se **Tabel 1**). Shunt dysfunktion og shuntinfektion kan være akutte, neurokirurgiske tilstande, og de kan medføre behov for shuntrevision [7, 8]. Risikoen for shunt dysfunktion er høj, og komplikationer hos shuntopererede patienter rammer 40% og 29% blandt henholdsvis børn og voksne [9]. Dette har også givet sig til udtryk ved et stigende antal ventrikulære shuntoperationer i Danmark i de sidste ti år. I 2022 registrerede Landspatientregisteret 917 shuntoperationer, hvoraf 461 var shuntrevisioner og shuntfjernelser. Denne artikel har til formål at give kendskab til ventrikulær shunt dysfunktion.

TABEL 1 Oversigt over potentielle årsager til shunt dysfunktion.

Komplikationstype	Årsag	Proportion af komplikationer, % ^a
Mekanisk	<i>Obstruktion</i>	
	Proksimal	6,5
	Distal	3,8
	Ventildefekt	18,4
	<i>Displacering</i>	
	Proksimal	9,2
	Distal	10,8
	Perforation	-
	Frakobling	9,2
	Dræknæk	-
Funktionel	Overdrænage	13,0
	Underdrænage	-
	Pseudocyste	-
	Ascites	-
Infektiøs	<i>Infektion</i>	13,0
	Bakteriel	
	Fungal	
	Parasitær	

a) Tal adapteret fra tabel i [23]. Artiklen opgør den procentvise inddeling af årsager til 1. shuntrevision i en population af shuntopererede patienter.

KLASSIFIKATION OG UDREDNING AF HYDROCEPHALUS

Hydrocephalus inddeles oftest på baggrund af ætiologien i kommunikerende og nonkommunikerende (obstruktiv) type samt en særlig subtype kaldet idiopatisk normaltrykshydrocephalus (iNPH) [5, 10].

Kommunikerende hydrocephalus er hyppigst forekommende og forårsages af CSV-overproduktion, inadækvat CSV-absorption eller en kombination heraf [11], hvoraf iNPH er en speciel subtype med særlige kliniske og radiologiske kendetegn [12]. Nonkommunikerende hydrocephalus skyldes intra- eller ekstraventrikulær obstruktion af det normalfysiologiske flow af CSV, f.eks. af tumor, cyste, membran eller medfødte

malformationer [10].

Hydrocephalus hos spædbørn med åbne fontaneller kan præsentere sig med frembulende fontaneller, voksende hovedomfang, adfærdsændringer, irritabilitet, Macewens tegn (resonanslyd ved perkussion nær de kraniele suturer) og solnedgangsblik. Den posteriore fontanelle fusionerer inden for et par måneder efter fødslen, mens den anteriore fontanelle er åben i op til to år [13]. Hydrocephalus hos børn og voksne med lukkede fontaneller kan medføre hovedpine, opkastninger, bevidsthedspåvirkning, stasepapiller, synsforstyrrelser, gangpåvirkning og abducensparese. Klassisk er stillingsbetinget hovedpine, som forværres i liggende og lindres i oprejst stilling grundet tyngdekraftens påvirkning af det intrakranielle tryk (ICP) [6, 14].

Radiologisk billeddiagnostik inkluderer CT og MR-skanning af hjernen [5, 15]. CT af cerebrum har sin primære anvendelse til screening og akut udredning for hydrocephalus, særligt på grund af sin mere udbredte tilgængelighed [10]. MR-skanning af cerebrum er den foretrukne billeddiagnostiske undersøgelse til udredning af hydrocephalus, hvoraf fasekontrast-MR-skanning anvendes til visualisering af CSV-flowet i og omkring hjernen. Metoden muliggør mere detaljeret vurdering af forhold som akvæduktstenose (der ofte bør behandles med tredje ventrikulostomi og ikke shunt) samt radiologiske tegn til hydrocephalus: forstørrede ventrikler og temporalhorn, nedadbulende loft i tredje ventrikel, udtynding af corpus callosum og transependymal ekstrasvulusion af CSV fra ventriklerne til hjernevævet [16].

BEHANDLINGSPRINCIPPER VED VENTRIKULÆRE SHUNTS

En shunt består oftest af fire komponenter: proksimalt kateter, reservoir, ventil og distalt kateter. Forudgået af et borehul i kraniet indføres det proksimale kateter i en af de cerebrale lateralventrikler, mens det distale kateter indføres på lokationen for CSV-absorption. Shuntslangen løber altid subkutant fra kranie til indløbsstedet. Ventilens primære funktion er ensretning af flow væk fra de cerebrale ventrikler, og reservoirs beliggenhed oven på kraniet muliggør palpation og punktur [4, 17].

Valget af shunttype og ventiltipe afhænger af patientens hydrocephalusætiologi, anatomiske og fysiologiske faktorer, alder, ventrikelstørrelser, tidligere prøvede shunttyper og ventiltyper samt klinikerens erfaringer.

Overordnet findes differentialtryksventiler og flowstyrede ventiler: forsimpelt holder differentialtryksventiler samme tryk uanset flow, mens flowstyrede ventiler holder samme flow uanset tryk. Disse ventiler kan være ikkejusterbare eller justerbare. Differentialtryksventiler har et fastsat åbningstryk, hvor CSV dræneres, når differentialtrykket over ventilen overstiger ventilens åbningstryk. Differentialtrykket bestemmes af forskellen mellem trykket for shuntens proksimale ende, det vil sige ICP, og trykket for den distale ende, det hydrostatiske tryk og f.eks. det intraperitoneale tryk. Alle justerbare ventiler fungerer efter differentialtryksventilprincippet med et indstillet åbningstryk, der kan justeres efter behov for mere eller mindre drænage. Åbningstrykket kan reguleres af et eksternt, magnetisk værktøj, hvilket tillader noninvasiv justering.

Flowstyrede ventiler fungerer principielt ved, at flow ikke kan øges ud over en fastsat maksimal hastighed (volumen/tidsenhed), som modvirker sifoneffekten og beskytter mod overdrænage. Systemet kræver dog et vist intrakranielt tryk (f.eks. 9,6 mmHg – normalt ICP 0-15 mmHg for Orbis-Sigma-ventilen fra Integra), for at ventilen kan fungere flowstyret. Under det tryk fungerer ventilen som differentialtryksventil.

Liquordynamikken i shunten defineres ud fra det indstillede åbningstryk og den væskesøjle, som shunten drænerer over. Flowet øges derved i stående stilling grundet tillægget af vand under væskesøjlen. Denne effekt benævnes sifoneffekten, som bevirker, at CSV »suges« ned mod den distale kateterkavitet, indtil væsken opnår ligevægt mellem proksimal og distal kavitet. For at modvirke uhensigtsmæssigt øget drænage i oprejst position kan en shunt med antisifon- eller antigravitmekanisme benyttes [3, 4].

Hydrocefalus udvalget i Dansk Neurokirurgisk Selskab udarbejdede i 2020 et shuntkatalog, der kort beskriver og begrunder anvendte ventiltyper i Danmark [18].

SHUNTDYSFUNKTION

Hyppige årsager til shunt dysfunktion inddeles i tre kategorier: mekanisk, funktionel og infektiøs (Tabel 1) [19, 20].

Den hyppigste årsag til shunt dysfunktion er kateterobstruktion og udgør 30% [21]. Obstruktion kan forårsages af hjernebrok, glia- eller plexus choroideus-indvækst, tromber, infektion og proksimal eller distal kateterdisplacering.

Funktionel dysfunktion i form af over- og underdrænage giver uhensigtsmæssige ændringer af ICP. Underdrænage kan medføre akkumulering af CSV og korresponderende ICP-stigning, som giver hovedpine og kvalme i liggende stilling samt symptomlindring i oprejst stilling. Det gælder dog ikke patienter, hvor shuntten er anlagt grundet normaltrykshydrocephalus. Overdrænage reducerer CSV-volumen og korresponderende fald i ICP. Symptomerne er mest udtalt i stående stilling, hvor sifoneffekten medfører yderligere ICP-fald. Ved overdrænage er der risiko for kroniske, subdurale hæmatomer, som i værste tilfælde er behandlingskrævende, samt slit ventricle-syndrom, hvor en eller flere ventrikler sammenklapper [6, 20].

Nyere studier rapporterer en shuntinfektionsrate på 5-12%, hvoraf 90% sker inden for seks måneder postoperativt, og infektion er anslået som årsag til 11% af shunt dysfunktioner [22].

Ved shuntkomplikation skal shuntten ofte revideres. Shuntrevidering kan være operativ udskiftelse af en defekt shuntkomponent eller hele shuntforløbet. Revisionsraten efter første shuntoperation er omkring 40% [21, 23]. Børn har højere revisionsrate end voksne, særligt forårsaget af deres vækst, som medfører fysiologiske og anatomiske ændringer, hvilket betyder ændringer i shuntindstillinger og shunttype [24].

UDREDNING AF SHUNTDYSFUNKTION

Anamnese skal – ud over det sædvanlige – indeholde symptomdebut samt symptomer på over- eller underdrænage, neuroinfektion og/eller forhøjet ICP. Hos børn undersøges hovedstørrelse og fontaneller, og forældre adspørges til adfærds- og trivselsændringer. Shunt dysfunktion kan give symptomer som hovedpine, kvalme, opkastninger, synsforstyrrelser, feber og adfærdsændringer. En VP-shunt kan give abdominale smerter, også uden dysfunktion, grundet dens intraperitoneale beliggenhed. Mere sjældent ses kranieelle neuropatier og kramper.

I meget sjældne tilfælde kan bevidsthedstab indtræde, hvis hastig CSV-akkumulering medfører kraftig ICP-stigning. Disse tilfælde bør håndteres som anden cerebral katastrofe med intubation, hyperventilation og hypertont saltvand indtil hurtig kirurgisk intervention. Her tages øjeblikkelig kontakt til en neurokirurgisk afdeling [7, 25].

Objektivt inspiceres og palperes hele shuntens ekstrakranielle forløb, shuntreservoir, ventilen og shuntens distale placering. Har patienten en VP-shunt, gennempalperes abdomen, da shuntinfektion ofte giver peritoneal ømhed og smerter. Et funktionelt shuntreservoir skal være komprimerbart efterfulgt af genopfyldning ved kompressionsophør. Er ventilen justerbar, foretages kontrol af det indstillede åbningstryk.

Radiologisk billeddiagnostik har en stor plads i shunt dysfunktionsudredning (**Figur 2**). Konventionel røntgenundersøgelse anvendes til billedfremstilling af shuntserier, hvor projektionerne anterior-posteriort plan og lateralplan kan fremstille shuntens forløb kranielt, torakalt og abdominalt. CT eller MR-skanning af cerebrum

anvendes til vurdering af cerebral ventrikel-størrelse, subdurale ansamlinger (hygromer, hæmatomer) og udelukkelse af differentialdiagnoser. Uændrede intrakranielle forhold udelukker dog ikke shunt dysfunktion.

FIGUR 2 Radiologisk fremstilling af shuntforløb og shuntplacering. **A.** Sagittal 3D-fremstilling af kranie med synlig shuntudgang på kraniets overflade, en justerbar shuntventil samt shuntreservoir. **B.** Røntgenfremstilling med lateralt billede af kranie samt shuntens forløb, justerbar shuntventil af typen samt en antisifonmekanisme distalt for ventilen. **C.** Anterior-posterior (AP)-røntgenfremstilling af ventrikuloperitonal (VP) shunts forløb til abdomen. **D.** Lateral røntgenfremstilling af VP-shunts forløb til abdomen. **E.** AP-røntgenfremstilling af en VP-shunts forløb subkutant over truncus mod abdomen.



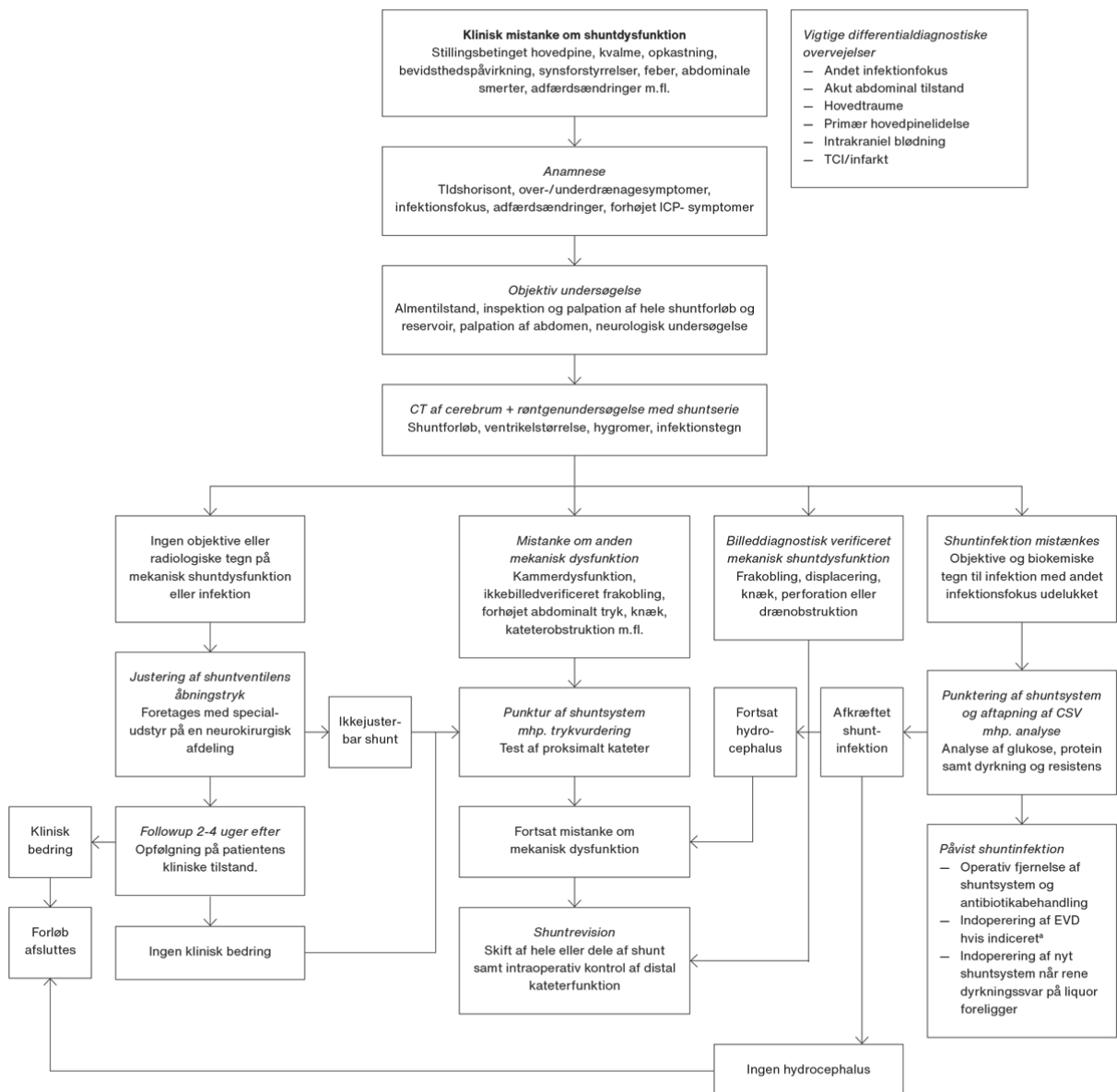
Hvis der er behov for en mere funktionel vurdering af shunten over en længere periode, kan der foretages kontinuerlig måling af ICP via shuntreservoir eller invasiv trykmåler. Hos særligt komplekse patienter kan telemetrisk måling af ICP overvejes, hvilket også muliggør, at patienterne selv kan måle ICP [26].

Ved mistanke om infektion eller proksimal shunt dysfunktion er det relevant at aftappe CSV fra shuntreservoir i samråd med en neurokirurg. Proceduren omfatter palpation af shunten kranielt, afsprøjtning af hud, indstik i reservoir med atraumatisk nål og tapning af CSV. CSV-prøver sendes til analyse for protein, glukose, leukocytal

og dyrkningsresistens. Er reservoiret ikke komprimerbart eller tapning ikke mulig, bør man overveje proksimal kateterdysfunktion.

Vigtige, differentialdiagnostiske overvejelser inkluderer andet oplagt infektionsfokus, akutte abdominale tilstande, hovedtraume, primær hovedpinelidelse, intrakraniell blødning samt transitorisk cerebral iskæmi/infarkt [7, 9, 25]. En oversigt over udredning af shunt-dysfunktion ses i **Figur 3**.

FIGUR 3 Flowchart med oversigt over udredningsforløb hos patienter, hvor der er mistanke om shunt-dysfunktion.



CSV = cerebrospinalvæske; EVD = ekstern ventrikulær drænage; ICP = intrakranielt tryk; TCI = transitorisk cerebral iskæmi.

a) Ved hydrocephalus uden forhøjet intrakranielt tryk, f.eks. idiopatisk normaltrykshydrocephalus, er der ikke indikation for anlæggelse af eksternt ventrikulært dræn efter shuntfjernelse på infektions baggrund.

FREMTIDIGE UDSIGTER FOR UDREDNING AF SHUNT-DYSFUNKTION

En nyere metode til vurdering af shuntfunktion er nuklearmedicinsk undersøgelse af shuntflowet. Metoden er egnet til patienter, hvor billeddiagnostik viser uændrede shuntforhold, men klinisk præsentation eller ICP-

måling rejser mistanke om shunt-dysfunktion. Radioaktiv tracer-^{99m}Tc-DTPA (diethylen-triamin-penta-acetat) injiceres i shuntreservoiret og diffunderer i proksimal og distal kateterretning. Single photon-emissions-CT (SPECT)-CT-billeder tages hvert 15.-20. minut for at visualisere shuntens forløb [27].

OPSUMMERING

Hjerneventrikelshunts er standardbehandling i en lang række tilfælde af hydrocephalus. Shunt-dysfunktion er en hyppig komplikation hos shuntopererede patienter og kendetegnes især ved stillingsbetinget hovedpine, kvalme, eksplosive opkastninger og i mere sjældne tilfælde bevidsthedspåvirkning. Systematisk tilgang er vigtig for tidlig udredning af shunt-dysfunktion. Patienter med hydrocephalus og udtalte symptomer eller mistanke om ICP-stigning kræver akut intervention og overflytning til en neurokirurgisk afdeling.

Korrespondance Emma Tubæk Nielsen. E-mail: emma.tubaek.nielsen@rsyd.dk

Antaget 30. januar 2024

Publiceret på ugeskriftet.dk 11. marts 2024

Interessekonflikter ingen. Forfatterens ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2024;186:V08230515.

doi 10.61409/V08230515

Open Access under Creative Commons License [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

SUMMARY

Intracranial ventricular shunts

Permanent shunt diversion of cerebrospinal fluid away from the central nervous system is a widely recognized neurosurgical procedure. Still, patients with ventricular shunts are at substantial risk of shunt dysfunction, which includes complications like mechanical shunt failure, abnormal shunt drainage and infection. Early detection of shunt dysfunction is essential to proper and timely treatment, and acute shunt dysfunction might require immediate intervention. This review summarizes current and potential strategies for investigation of shunt dysfunction.

REFERENCER

1. Aschoff A, Kremer P, Hashemi B et al. The scientific history of hydrocephalus and its treatment. *Neurosurg Rev.* 1999;22(2-3):67-93, discussion 94-95. doi: 10.1007/s101430050035.
2. Morosanu CO, Priscu A, Florian IS. Evaluation of the ventriculocholecystic shunt - an overview of present practice in adult and pediatric hydrocephalus. *Neurosurg Rev.* 2021;44(5):2533-2543. doi: 10.1007/s10143-021-01472-x.
3. Soler GJ, Bao M, Jaiswal D et al. A review of cerebral shunts, current technologies, and future endeavors. *Yale J Biol Med.* 2018;91(3):313-321.
4. Aghayev K, Iqbal SM, Asghar W et al. Advances in CSF shunt devices and their assessment for the treatment of hydrocephalus. *Expert Rev Med Devices.* 2021;18(9):865-873. doi: 10.1080/17434440.2021.1962289.
5. Leinonen V, Vanninen R, Rauramaa T. Cerebrospinal fluid circulation and hydrocephalus. *Handb Clin Neurol.* 2017;145:39-50. doi: 10.1016/B978-0-12-802395-2.00005-5.
6. Bergsneider M, Miller C, Vespa PM et al. Surgical management of adult hydrocephalus. *Neurosurgery.* 2008;62(suppl 2):643-59. doi: 10.1227/01.neu.0000316269.82467.f7.

7. Ferras M, McCauley N, Stead T et al. Ventriculoperitoneal shunts in the emergency department: a review. *Cureus*. 2020;12(2):e6857. doi: 10.7759/cureus.6857.
8. Sekhar LN, Moossy J, Guthkelch AN. Malfunctioning ventriculoperitoneal shunts. Clinical and pathological features. *J Neurosurg*. 1982;56(3):411-6. doi: 10.3171/jns.1982.56.3.0411.
9. Broggi M, Zattra CM, Schiariti M et al. Diagnosis of ventriculoperitoneal shunt malfunction: a practical algorithm. *World Neurosurg*. 2020;137:e479-e486. doi: 10.1016/j.wneu.2020.02.003.
10. Langner S, Fleck S, Baldauf J et al. Diagnosis and differential diagnosis of hydrocephalus in adults. *Rofo*. 2017;189(8):728-739. doi: 10.1055/s-0043-108550.
11. Li J, Zhang X, Guo J et al. Molecular mechanisms and risk factors for the pathogenesis of hydrocephalus. *Front Genet*. 2022;12:777926. doi: 10.3389/fgene.2021.777926.
12. Relkin N, Marmarou A, Klinge P et al. Diagnosing idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Neurosurgery*. 2005;57(3 suppl):S4-S16, discussion ii-v. doi: 10.1227/01.neu.0000168185.29659.c5.
13. Kirkpatrick J, Bowie S, Mirjalili SA. Closure of the anterior and posterior fontanelle in the New Zealand population: a computed tomography study. *J Paediatr Child Health*. 2019;55(5):588-593. doi: 10.1111/jpc.14253.
14. Cowan JA, McGirt MJ, Woodworth G et al. The syndrome of hydrocephalus in young and middle-aged adults (SHYMA). *Neurol Res*. 2005;27(5):540-7. doi: 10.1179/016164105X17242.
15. Agarwal A, Bathla G, Kanekar S. Imaging of communicating hydrocephalus. *Semin Ultrasound CT MR*. 2016;37(2):100-8. doi: 10.1053/j.sult.2016.02.007.
16. Kartal MG, Algin O. Evaluation of hydrocephalus and other cerebrospinal fluid disorders with MRI: an update. *Insights Imaging*. 2014;5(4):531-41. doi: 10.1007/s13244-014-0333-5.
17. Mirone G, Spina D, Sainte-Rose C. Shunt hardware. In: Cinalli G, Özek MM, Sainte-Rose C, eds. *Pediatric hydrocephalus*. Springer International Publishing, 2019:1239-77.
18. Hydrocefalus udvalget, Dansk Neurokirurgisk Selskab. Shunt katalog. Dansk Neurokirurgisk Selskab, 2020.
19. Browd SR, Ragel BT, Gottfried ON et al. Failure of cerebrospinal fluid shunts: part I: obstruction and mechanical failure. *Pediatr Neurol*. 2006;34(2):83-92. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2005.05.020.
20. Browd SR, Gottfried ON, Ragel BT et al. Failure of cerebrospinal fluid shunts: part II: overdrainage, loculation, and abdominal complications. *Pediatr Neurol*. 2006;34(3):171-6. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2005.05.021.
21. Reddy GK, Bollam P, Caldito G. Long-term outcomes of ventriculoperitoneal shunt surgery in patients with hydrocephalus. *World Neurosurg*. 2014;81(2):404-10. doi: 10.1016/j.wneu.2013.01.096.
22. Simon TD, Schaffzin JK, Stevenson CB et al. Cerebrospinal fluid shunt infection: emerging paradigms in pathogenesis that affect prevention and treatment. *J Pediatr*. 2019;206:13-19. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.11.026.
23. Månsson PK, Johansson S, Ziebell M et al. Forty years of shunt surgery at Rigshospitalet, Denmark: a retrospective study comparing past and present rates and causes of revision and infection. *BMJ Open*. 2017;7(1):e013389. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013389.
24. Vinchon M, Rekate H, Kulkarni AV. Pediatric hydrocephalus outcomes: a review. *Fluids Barriers CNS*. 2012;9(1):18. doi: 10.1186/2045-8118-9-18.
25. Bober J, Rochlin J, Marneni S. Ventriculoperitoneal shunt complications in children: an evidence-based approach to emergency department management. *Pediatr Emerg Med Pract*. 2016;13(2):1-22, quiz 22-3.
26. Geocadin RG, Varelas PN, Rigamonti D et al. Continuous intracranial pressure monitoring via the shunt reservoir to assess suspected shunt malfunction in adults with hydrocephalus. *Neurosurg Focus*. 2007;22(4):E10. doi: 10.3171/foc.2007.22.4.12.
27. Quezada JJ, McComb JG. Reliability of the radiopharmaceutical shunt flow study for the detection of a CSF shunt malfunction in the presence of stable ventricular size. *J Neurosurg Pediatr*. 2020;26(4):364-370. doi: 10.3171/2020.4.PEDS2020.