

dine poľské odporúčania stanovujú vek jeho použitia od 12. roku života (Bohatyrewicz et al., 2021). Technologický rozvoj CT prístrojov umožnil realizáciu tzv. časovo invariantnej CTA (*time-invariant* – TI-CTA), ktorá poskytuje angiografiu prekrytím všetkých časových rámcov a zobrazuje maximálne zvýraznenie tepien počas perfúzneho CT vyšetrenia. Znamená to, že maximálne zvýraznenie ciev sa zobrazí nezávisle od času príchodu kontrastnej látky. Preto TI-CTA nie je citlivá na oneskorený príchod kontrastnej látky do mozgových ciev, takže by mala zobrazovať každú priechodnú cievu (Smit et al., 2012). So zvyšujúcou sa dostupnosťou moderných CT prístrojov sa používanie perfúzneho CT a TI-CTA rozširuje a nahrádza štandardnú CTA techniku (Bohatyrewicz et al., 2021; Sawicki et al., 2017, 2018).

Perfúzna počítačová tomografia (CTP)

CT perfúzia je pokročilá technika CT vyšetrenia, ktorá poskytuje ako anatomické, tak aj funkčné informácie o mozgu. CTP sa bežne používa na hodnotenie cerebrálnej ischémie a vaskularizácie mozgových nádorov a má priestorové rozlíšenie umožňujúce kvantifikáciu perfúzie v akejkoľvek vybranej časti mozgu. Rovnako ako CTA, aj CTP je široko dostupný nástroj, a vďaka dostupnosti automatizovaného softvéru môžu byť CTP výstupy takmer nezávislé od hodnotiaceho lekára. Výhodou CTP je, že ho možno vykonať spolu s CTA. Aplikácia kontrastnej látky pri CTP predstavuje určité riziko poškodenia obličiek. Zaslúhou menšieho objemu použitej kontrastnej látky je však pravdepodobnosť významnej nefrotoxicity veľmi malá. CTP dosahuje vysokú senzitivitu a špecificitu (98–100 % a 100 %) (Sawicki et al., 2017; Neves Briard et al., 2023), na základe ktorých ju odporúčajú viaceré odborné spoločnosti (Shemie et al., 2023; Bohatyrewicz et al., 2021). Predpokladá sa, že by mohla byť v budúcnosti schválená aj WBDP (Greer et al., 2020).

Magnetická rezonancia (MRI)

MRI je neinvazívna a presná modalita pri identifikácii štruktúrnych abnormalít mozgu. V bežnej praxi má MRI oproti CT niekoľko **nevýhod**: je časovo náročnejšia, nie je tak

široko dostupná a je ťažšie ju vykonať u kriticky chorých pacientov a pacientov na mechanickej ventilácii.

Orison et al. ako prví identifikovali 6 znakov na MRI u pacientov so smrťou mozgu: 1) transtentoriálna a tonzilárna herniácia, 2) chýbajúci „*flow void*“ v mozgových cievach, 3) dediferenciácia sivej a bielej hmoty, 4) absencia postkontrastného intrakraniálneho sýtenia, 5) postkontrastné sýtenie tepien („*intravascular enhancement sign*“) a 6) výrazné postkontrastné sýtenie nosa („*hot nose sign*“) (Orison et al., 1994). Ďalšie parametre zakomponované do diagnostiky sú DWI, ktoré ukazuje difúzne zníženie hodnôt ADC v bielej aj sivej hmote (Kumada et al., 2001), a SWI, kde nachádzame tzv. „*transcerebral*“ a „*transcortical vein sign*“ (Sohn et al., 2021). Treba mať na pamäti, že žiaden z týchto MRI znakov nie je patognomonický pre smrť mozgu, keďže sa môžu vyskytovať aj v iných prípadoch, ako napríklad pri závažnom hypoxicko-ischemickom poškodení mozgu (Correa et al., 2022). V metaanalýze realizovanej autormi Briard et al. malo MR vyšetrenie v dokazovaní smrti mozgu zastúpenie okolo 2–3 % z konfirmačných testov (Briard et al., 2023). „*Time of flight*“ MRA, dynamická kontrastná MRA a MR perfúzne vyšetrenie sa tiež využívajú na dôkaz zlyhania mozgovej cirkulácie, avšak na validáciu týchto testov ako konfirmačných na rutinné používanie na dôkaz smrti mozgu je potrebný ďalší výskum, čo uvádzajú aj aktuálne publikované odporúčania (Greer et al., 2020; Shemie et al., 2023; Greer et al., 2023).

Transkraniálny dopplerovský ultrazvuk (TCD)

Základom stanovenia smrti mozgu pomocou TCD je vyšetrenie prietoku intrakraniálnych tepien cez temporálne kostné okno, obojstranne subokcipitálne a prípadne obojstranne transorbitálne okno (Školoudík, 2017). K jeho **výhodám** patria rýchlosť, minimálna invazivita, finančná nenáročnosť, možnosť opakovania, možnosť vykonania pri lôžku pacienta, čo je dôležité pri použití u nestabilných pacientov. **Nevýhody** predstavuje dostupnosť, vysoká závislosť od operátora, špecifický tréning (Gastala et al., 2019). Slabou stránkou je tiež, že približne u 10 % dospelých je realizácia TCD pre

hrúbku lebky technicky neúspešná (AIUM, 2023). Používanie ultrazvuku ako doplnkového testu pri stanovení smrti mozgu odporúča u dospelých iniciatíva WBDP v USA, Kanade a mnohých európskych krajinách vrátane Českej republiky. Metodiku vyšetrenia so špecifickými parametrami ako preukázanie reverberačného toku, tiež nazývané „*to-and-fro*“ vzorec, krátke systolické hroty alebo úplné vymiznutie prietoku v intrakraniálnych tepnách podrobne opisuje publikovaný pokyn (Tomek et al., 2016). Opisovaná senzitivita v publikáciách varíruje, posledné údaje z Nemecka udávajú hodnotu 82,2 % (Hoffman et Sali et Masuhr, 2024). Senzitivita stúpa s odstupom času od klinickej diagnózy, pričom do 6 hodín dosahuje 58 % a do 36 hodín až 100 % (Kuo et al., 2006). Niektoré krajiny používajú ultrazvuk ako metódu predchádzajúcu CTA, keď sa pomocou TCD zníži čas do realizácie CTA a zároveň zníži počet negatívnych CTA vyšetrení (SFN et SFR et AB, 2011).

Záver

Včasná a správne rozpoznanie smrti mozgu je dôležité na zabránenie zbytočným intervenciám, pomôže potvrdiť a pochopiť stav aj rodinným príslušníkom pacienta, zlepšuje úspešnosť transplantácie orgánov a šetrí zdravotnícke zdroje. Smrť mozgu zostáva klinickou diagnózou. Na potvrdenie smrti mozgu však okrem klinických testov existujú aj konfirmačné vyšetrenia, z ktorých sú v súčasnosti používané najmä zobrazovacie – preukazujúce zlyhanie mozgovej cirkulácie. Realizácia a výber konfirmačného vyšetrenia musí zodpovedať miestnym zákonom. Napriek snahám o konsenzus aktuálne celosvetovo neexistuje jedno univerzálne vyšetrenie a použitie jednotlivých vyšetrení je ovplyvnené aj dostupnosťou a zvyklosťami konkrétneho pracoviska. V našich podmienkach sa odporúčania a z nich vyplývajúca legislatíva prikláňajú k DSA a perfúznej scintigrafii, ktorá môže byť zároveň indikovaná aj u detského pacienta. Neinvazívna CT a MR diagnostika má sľubnú budúcnosť, najmä v oblasti perfúzných vyšetrení, ktoré majú už dnes preukázanú vysokú presnosť. Na validáciu ich úplného využitia sú však potrebné ďalšie klinické a aj právne kroky.