Přehledový článek | Review article

Sonografie karotid v primární a sekundární prevenci cévní mozkové příhody

(Carotid ultrasound in primary and secondary prevention of stroke)

Alena Lorenzová^{a,b}^a III. interní klinika – kardiologická, Kardiocentrum 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha, Česká republika^b Corintez, s.r.o., kardiologická a interní ambulance, Praha, Česká republika

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Došel do redakce: 30. 11. 2015

Přepřacován: 10. 2. 2016

Přijat: 24. 2. 2016

Dostupný online: 28. 3. 2016

Klíčová slova:

Aterosklerotický plát

Cévní mozková příhoda

Prevence

Rychlostní kritéria

Sonografie karotid

Stenóza karotid

Keywords:

Atherosclerotic plaque

Carotid stenosis

Carotid ultrasound

Prevention

Stroke

Velocity criteria

SOUHRN

Zobrazovací metody hrají důležitou roli v léčbě pacientů s akutní cévní mozkovou příhodou nebo chronickým cerebrovaskulárním onemocněním. Sonografie karotid je velmi rozšířenou metodou zejména díky své neinvazivitě a dobré dostupnosti. Přehledový článek se zabývá indikacemi sonografie karotid v primární a sekundární prevenci. Prezentuje současná kritéria pro hodnocení závažnosti stenózy: výpočet procentuálního zúžení, rychlostní kritéria a morfologii plátu. Článek rozebírá také přesnost metody. Lze uzavřít, že sonografie karotid je spolehlivou diagnostickou metodou, která má důležitou roli v diagnostice a hodnocení stenózy karotid.

© 2016, ČKS. Published by Elsevier sp. z o.o. All rights reserved.

ABSTRACT

Imaging methods play an important role in management of patients with acute stroke or chronic cerebrovascular disease. Carotid ultrasound is a widely used method, thanks to its noninvasivity and wide accessibility. This review article deals with indications for carotid ultrasound examination in primary and secondary prevention. It presents current criteria for carotid stenosis assessment: calculation of the percentage of the stenosis, velocity criteria and the morphology of the plaque. Also accuracy of the method is analysed. In conclusion, carotid ultrasound is a reliable diagnostic tool that has an important role in the diagnosis and grading of the carotid stenosis.

Adresa: MUDr. Alena Lorenzová, Ph.D., III. interní klinika – kardiologická, Kardiocentrum 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Šrobárova 1150/50, 100 34 Praha 10, e-mail: alena.lorenzova1@fnkv.cz

DOI: 10.1016/j.crvasa.2016.02.012

Epidemiologie

Kardiovaskulární onemocnění jsou hlavní příčinou úmrtí a morbidit v rozvinutých zemích [1]. Ačkoli je zde mortalita související s kardiovaskulárními chorobami na ústupu, incidence stále zůstává vysoká. Významné regionální rozdíly existují také mezi evropskými zeměmi, kde se incidence cévní mozkové příhody pohybuje od 77 na 100 000 obyvatel ve Skotsku do 407 na 100 000 obyvatel v Maďarsku [2]. Bohužel statistika pravděpodobně nepokrývá všechny postižené jedince. Podle Bryana [3] prevalence tichého mozkového infarktu může být až 11 % u osob ve věkové skupině 55–64 let, s dalším vzestupem až na 43 % u lidí ve věku 85 let. Tato data nasvědčují tomu, že asymptomatických pacientů může být víc než symptomatických. U těchto pacientů se pak může vyskytnout další příhoda s klinickými projevy nebo se tiše rozvíjejí jiné komplikace (např. vaskulární demence).

Není divu, že zejména vzhledem k rozsáhlému populačnímu dopadu je zaváděno mnoho preventivních opatření, a proto jsou v rámci screeningu používány různé zobrazovací metody. Sonografie karotid je levným a běžně dostupným vyšetřením. Následující přehled se zabývá indikacemi a výhodami této metody v praxi.

Primární prevence

V rámci primární prevence je ultrazvuk karotid používán nejen k diagnostice onemocnění karotid, ale k odhadu rizika progresu aterosklerózy v rámci celkového kardiovaskulárního rizika [4]. Vzhledem ke své neinvazivitě a dobré dostupnosti je ultrazvuk karotid skvělým vyšetřením v rámci primární prevence, kde se používá ve dvou indikacích. První a nejdůležitější je podezření na stenózu karotid. Toto podezření bychom měli pojmut v mnoha klinických situacích, které jsou shrnuty v tabulce 1.

Druhou indikací je přesné hodnocení rizika progresu aterosklerózy u daného jedince, spíše než detekce stenózy karotid. Doporučení Evropské kardiologické společnosti (ESC) pro prevenci kardiovaskulárních onemocnění [5] shrnují, že zobrazovací metody pro odhad celkové aterosklerotické zátěže jsou relevantní zejména u jedinců ve středním riziku k dalšímu upřesnění jejich rizikového profilu. Například pacienti, jejichž riziko se dle tabulek SCORE nachází ve středních hodnotách, mohou být na základě pozitivního výsledku překlasifikováni do vyšší ri-

zikové kategorie, se zahájením patřičné medikamentózní terapie. V případě nepřítomnosti aterosklerotického plátu se k hodnocení rizika často používá hodnocení tloušťky intimy-medie (IMT). Karotická IMT je celkem konzistentně asociována s rizikem vzniku cévní mozkové příhody (CMP) a ischemické choroby srdeční [6]. Nicméně ve velké metaanalýze s použitím dat ze 14 populačních kohort [7] se ukázalo, že klinické využití IMT může být limitováno: zlepšení predikce prvního infarktu myokardu či CMP je pouze nepatrné, pokud je hodnocení IMT přidáno k Framinghamskému rizikovému skóre (celkové zpřesnění hodnocení o 0,8 %). V současné době tedy spíše převládá názor, že klinický význam hodnocení IMT ještě bude muset být určen. Měření IMT má také své limitace: IMT je obvykle měřena ve společné karotidě pro snazší dostupnost detailního zobrazení, avšak aterosklerotické pláty se objevují většinou nejdříve v bulbu [8]. Tato technická otázka může být částečně odpovědná za omezenou hodnotu IMT v predikci rizika. V metaanalýze provedené Inabou a spol. [9] bylo zjištěno, že přítomnost plátu v karotidě má signifikantně vyšší diagnostickou hodnotu pro předpověď budoucího infarktu myokardu v porovnání s IMT. Nové 3D ultrazvukové techniky mají schopnost přímo měřit celkový objem plátu a jeho celkovou plochu, kdy zejména celkový objem plátu se zdá být lepší než IMT v hodnocení kardiovaskulárního rizika [10]. Ačkoli je ještě potřeba stanovit přesnou roli těchto nových modalit v hodnocení kardiovaskulárního rizika, je pravděpodobné, že si svou pozici v budoucnu získají.

Otázka, zda mají všichni pacienti v kategorii s vysokým rizikem rutinně absolvovat sonografii karotid, ještě stále není uspokojivě dořešena. U.S. Preventive Services Task Force v návaznosti na současná data [11] znovu potvrdila svá předchozí doporučení proti rutinnímu screeningu karotické stenózy v populaci [12]. Současná diskuse v primární prevenci se spíše věnuje otázce, co je správnou léčbou asymptomatické stenózy karotid. V počátečních studiích ACAS [13] a ACST [14], zaměřených na asymptomatickou stenózu karotid, léčba stenózy ≥ 60 % endarterektomií (CEA) snížila riziko CMP během následujících pěti let na polovinu (z 12 % na 6 % včetně perioperačního rizika). Avšak tyto studie probíhaly v 90. letech 20. století předtím, než byly na trh uvedeny nové, vysoce potentní statiny. Na základě těchto výsledků současné Doporučené postupy ESC pro diagnostiku a léčbu onemocnění periferních tepen [15] uvádějí, že u asymptomatických pacientů se stenózou karotidy více než 60 %, by CEA měla být zvážena za podmínek, že perioperační riziko CMP a úmrtí je méně než 3 % a že pacientova očekávaná délka života je více než pět let. Ale ta samá doporučení také uzavírají, že aditivní prospěch revaskularizace k optimální medikamentózní léčbě by měl být znovu posouzen za současných podmínek (zejména při intenzivní optimální medikamentózní léčbě).

Sekundární prevence

Postupy v sekundární prevenci, tedy u pacientů s proběhlou CMP či transitorní ischemickou atakou (TIA), jsou lépe definovány. Ti pacienti, kteří jsou přijati do nemocnice s akutními příznaky během časového intervalu vhodné-

Tabulka 1 – Indikace sonografie karotid v primární prevenci – podezření na stenózu karotidy

- Šelest nad karotidou
- Synkopa
- Točení hlavy, závrať
- Subklaviální „steel syndrome“
- Cerebrální ateroskleróza diagnostikovaná jinými metodami
- Uzávěr retinální arterie
- Náhlá ztráta či porucha vizu
- Přechodná ztráta vizu – amaurosis fugax
- Porucha chůze – pokud není muskuloskeletálního či periferně-nervového původu
- Přechodná paralýza končetiny
- Poranění v karotické oblasti

Obr. 1 – Výpočet závažnosti stenózy (v %) podle studií NASCET a ECST, detaily v textu. CCA – společná karotida; ECA – vnější karotická arterie; ICA – vnitřní karotická arterie.

ho k akutní revaskularizaci, procházejí urgentním zobrazovacím vyšetřením podle místního protokolu, většinou jsou metodou první volby výpočetní tomografie (CT) nebo magnetická rezonance (MR). Toto vstupní vyšetření je prováděno k vyloučení krvácení a detekci ischemické tkáně a také k vyloučení diagnóz, které mohou akutní mozkovou ischemii simulovat [16]. Lokalizace místa postižení arterie je zásadní pro rozhodnutí, jaký druh akutní léčby má být zahájen. Pro tyto účely se zdá být CT/MR angiografie nebo digitální subtrakční angiografie (DSA) optimální [16] také pro jejich schopnost zobrazit intrakraniální řečiště.

Sonografie karotid se častěji užívá ke stanovení mechanismu ischemie u chronického cerebrovaskulárního postižení nebo u pacientů po CMP, pokud nebyla provedena vstupní angiografie. Všichni pacienti s CMP by měli projít zobrazovacím vyšetřením mozkových i přírodních tepen, ať již dle vstupního protokolu při akutním příjmu, nebo během následného programu vyšetření ke stanovení přesné příčiny a mechanismu ischemie. Stenóza vnitřní karotické tepny odpovídá za 20 % všech ischemických CMP (17 %). Podle Northern Manhattan Study [18] je roční riziko recidivy ischemické cévní mozkové příhody po první příhodě asi 3–4 %. Tato současná hodnota je na svém historickém minimu, zejména díky novým preventivním opatřením (jak medikamentózní terapie, tak invazivní/chirurgické metody), která byla zavedena během posledních 40 let [19].

Kvantifikace stenózy karotid

Duplexní sonografie kombinuje dvojrozměrnou sonografii (B-mode) se spektrální analýzou pulsním dopplerovským vyšetřením. B-mode zobrazuje struktury a morfologii a slouží také jako podklad pro přesné měření rychlosti krevního toku pulsním dopplerovským vyšetřením (PW). Kvantifikace stupně stenózy se obvykle skládá z kombinace kalkulace procentuální změny průměru tepny (morfologie stenózy) s dopplerovskými rychlostními kritérii (hemodynamický dopad).

Kalkulace procentuálního zúžení je založena na dvou rozdílných přístupech, přitom oba dva jsou odvozeny z angiografického měření. Metoda NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) [20] srovnává průměr reziduálního stenotického lumen s průměrem normálního „zdravého“ lumen vnitřní karotické arterie (internal carotid artery, ICA) distálně od stenózy. Metoda ECST (European Carotid Surgery Trial) [21] porovnává reziduální lumen ve stenóze s odhadem původního průměru v místě stenózy. V metodě ECST typicky vychází pro stejné reziduální lumen vyšší procentuální zúžení než v metodě NASCET. Vztah mezi oběma metodami byl stanoven regresní analýzou [22]:

$$\text{ECST \%} = 0,6 \text{ NASCET \%} + 40 \text{ \%}.$$

V současné době je preferována metoda NASCET jako lepší indikátor stupně stenózy ICA. Většina současných doporučení, včetně Doporučení ESC pro léčbu onemocnění periferních tepen používá hodnoty získané pomocí metody NASCET. Přestože je hodnocení pomocí ECST na ústupu, je při čtení zprávy ze sonografického vyšetření důležité věnovat pozornost tomu, kterou metodou bylo hodnocení významnosti stenózy provedeno (obr. 1).

Dopplerovská měření, která byla korelována s angiografickým nálezem stenózy, obsahují vrcholovou systolicou rychlost (peak systolic velocity, PSV) v ICA, end-diastolickou rychlost (EDV) a poměr PSV v ICA a ve společné karotidě (common carotid artery, CCA) [23]. Původní rychlostní kritéria vytvořená Carpenterem pro účely studie NASCET jsou stále platná a široce užívána [24]. Kritéria odpovídající stenóze > 70 % jsou: PSV ICA > 210 cm/s, EDV ICA > 70 cm/s, PSV ICA/PSV CCA > 3,0 a EDV ICA/EDV CCA > 3,3. Pokud jsou přítomna všechna čtyři kritéria, senzitivita

Tabulka 2 – Diagnostická kritéria hodnocení stenózy vnitřní karotické arterie

Stupeň stenózy (%)	Redukce lumen plátem (%)	ICA PSV (cm/s)	ICA/CCA PSV (cm/s)	ICA EDV
Normální	Není	< 125	< 2,0	< 40
< 50	< 50	< 125	< 2,0	< 40
50–69	50–69	125–230	2,0–4,0	40–100
70–89	70–89	230–400	4,0–5,0	> 100
90 až téměř uzávěr	> 90	> 400	> 5,0	> 100
Téměř uzávěr	Vlasový průtok „String sign“	Nízký, vysoký	Variabilní	Variabilní
Kompletní uzávěr	Žádné detekovatelné lumen	Nedetekovatelný	Nelze	Nelze

CCA – společná karotida (common carotid artery); EDV – end-diastolická rychlost; ICA – vnitřní karotická arterie (internal carotid artery); PSV – vrcholová systolická rychlost (peak systolic velocity)

Založeno na datech Granta a spol. – Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference [25] a Filise a spol. [26]

Obr. 2 – 90% stenóza ICA u pacienta s dobrou vyšetřitelností. Plát je hypoechogenní, což svědčí pro vysoký obsah lipidů v jeho jádru. ICA – vnitřní karotická arterie.

vita a negativní prediktivní hodnota dosahují 100 %. Bohužel pouze 20 % pacientů se stenózou více než 70 % splňuje všechna čtyři kritéria [24]. V současné době jsou užívána kritéria rozšiřující původní Carpenterovy parametry, standardizovaná americkou společností Society of Radiologists in Ultrasound [25]. Stenóza 50-69 % je diagnostikována PSV 125–230 cm/s, stenóza $\geq 70\%$ až po „téměř uzávěr“ je charakterizována PSV vyšším > 230 cm/s. Přídatná kritéria ICA/CCA PSV a ICA EDV jsou také používána. Kategorie stenóza $\geq 90\%$ při PSV > 400 cm/s byla definována Filisem a spol. [26]. Morfologická a rychlostní kritéria jsou shrnuta v tabulce 2.

Charakteristika aterosklerotického plátu

Aterosklerotický plát je definován jako jakékoli měření IMT $> 1,5$ mm nebo lokální struktura vnitřku cévní stěny silnější o více než 0,5 mm v porovnání s okolní IMT [5]. Pláty mohou být charakterizovány velikostí, nepravidlostmi a echodenzitou. Reilly byl první, kdo si povšiml, že struktura echogenicity tkání v B-móde zobrazení souvisí s histologickým složením tkání [27]. Charakter tkáně může být popsán jako hypoechogenní, izoechogenní nebo hyperechogenní. Izoechoenní je definován jako struktura mající stejnou echogenicitu jako normální komplex IMT, zatímco hyperechogenní plát je světlejší. Bylo zjištěno, že echogenicita plátu stoupá se stoupajícím obsahem fibrózní tkáně a obsahem kalcia [28]. Hypoechogenní charakteristika plátu souvisí s vysokým obsahem lipidů nebo krvácením do plátu [29] (obr. 2).

Skutečnost, že vlastnosti plátu mají vliv, byla zjištěna AbuRahmou a spol. [30], kteří zjistili, že se u 80 % symptomatických pacientů s aterosklerotickým poškozením karotid nacházejí heterogenní pláty (bez ohledu na závažnost stenózy), zatímco u asymptomatických pacientů byly heterogenní pláty přítomny pouze ve 20 % případů. U ostatních pacientů byly pláty homogenní. V Tegosoově [31] studii byly sonografické a histopatologické charakteristiky plátů srovnávány se symptomy pacientů. Retinální symptomatologie souvisela s hypoechogenním vzhledem plátu (spojený s přítomností krvácení do plátu nebo s centrálním jádrem vyplněným lipidy), zatímco cerebrovaskulární symptomy koincidovaly s heterogenním vzhledem

plátu. Asymptomatictí pacienti měli většinou hyperechogenní vzhled plátu. Hypoechogenní nebo heterogenní morfologie plátu svědčí pro nestabilní plát se zvýšeným rizikem nepříznivých neurologických příhod – důležitá informace pro klinické rozhodnutí.

Přesnost

Podle Jahromiho a spol. [32] je v porovnání s DSA senzitivita sonografie karotid 98 % pro práh PSV 130 cm/s a stenózu $> 50\%$. Pro 70% stenózu a kritérium PSV 200 cm/s je senzitivita 90 %. Specificity jsou 88 % a 94 %. Podle Longovy metaanalýzy [33] byly ve většině studií senzitivity více než 80 % a specifity přes 90 %. Dokonce i současnější studie ukazují velmi podobné výsledky týkající se senzitivity a specifity [34,35].

Tato metoda má také své limity: závislost na úhlu insonace, kvalita sonografického „okna“ a hloubka zobrazování. Závislost na úhlu insonace je důležitým zdrojem chyb – nedostatečná korekce incidenčního úhlu při měření rychlostí PW dopplerovským vyšetřením může vést jak k podhodnocení, tak nadhodnocení PSV, s následným nesprávným zhodnocením závažnosti stenózy. Nízká kvalita zobrazení při horší přehlednosti tkání nebo nepříznivé anatomii („krátký krk“) spolu s místní morfologií (např.

Obr. 3 – 70% stenóza ICA u pacienta se špatnou vyšetřitelností. Krevní tok barevným mapováním není zcela jasný a naměřené rychlosti (PSV a EDV) jsou pravděpodobně podhodnoceny. EDV – end-diastolická rychlost; PSV – vrcholová systolická rychlost.

Obr. 4 – DSA: stenóza ICA u stejného pacienta jako na obrázku 3. DSA – digitální subtrakční angiografie; ICA – vnitřní karotická arterie.

stíny za kalcifikacemi) mohou kompletně znemožnit morfologické zhodnocení stenózy. Také měření rychlostí krevního toku je mnohem náročnější při nekvalitním zobrazení. Oblastmi obtížného zobrazení jsou proximální části společné karotidy, její odstup se daří zobrazit jen u limitovaného počtu pacientů. Intrakraniální části mohou být zobrazeny pouze jinými diagnostickými metodami nebo intrakraniálním ultrazvukem. Nedostatečná kvalita zobrazení může učinit přesné stanovení stupně stenózy obtížným, jak je dokumentováno na obrázcích 3 a 4.

Variabilita mezi vyšetřujícími a mezi přístroji od různých výrobců také hraje roli ve stanovení závažnosti stenózy. V Rankeho srovnávací studii se rychlosti krevního toku mezi jednotlivými sonografickými systémy významně lišily, avšak v hodnocení závažnosti stenózy podle poměrů středních rychlostí (mean velocity ratio) nebyl signifikantně významný rozdíl. Variabilita mezi vyšetřujícími dosahovala 13,6 % pro PSV a 15 % pro poměr středních rychlostí – podle těchto nálezů lze uzavřít, že při následných vyšetřeních pouze rozdíl průměru stenózy (závažnosti) > 15 % indikuje progresi či regresi onemocnění.

Jak již bylo zdůrazněno, standardizace vyšetřovací procedury je velmi důležitá. Cílem je minimalizovat variabilitu mezi vyšetřeními a vyšetřujícími na nejnížší možnou míru. Zejména radiologické společnosti publikují doporučení či stanoviska týkající se metodologie sonografie karotid s cílem snížit rozdílnost výsledků mezi jednotlivými pracovišti [25,37].

V Aleksicově [38] studii byla senzitivita sonografie karotid pro detekci restenózy po karotické endarterektomii 100 % a specifita 97,7 % při srovnání s CT angiografií. Zatímco tyto výsledky vypadají skvěle, musíme zvážit navíc senzitivitu a specifitu CT angiografie, která je méně než 100 % při srovnání s digitální subtrakční angiografií (DSA). Silvenoinenova komparativní studie [39] v tomto srovnání prokázala hodnoty 88 % a 82 % pro senzitivitu a specifitu při detekci středně významné stenózy, s lehkým podhodnocením závažných stenóz. Používání CT angiografie jako zlatého standardu pro hodnocení stenózy karotid se stává čím dál častějším, avšak je nutné zdůraznit, že DSA stále nebyla překonána v přesnosti hodnocení stenózy karotid.

Závěr

Sonografie karotid je spolehlivým diagnostickým nástrojem, který má důležitou roli v diagnostice a hodnocení stenózy karotid. Rutinní screening asymptomatických pacientů není doporučován, avšak u pacientů s podezřením na stenózu karotidy nebo známým aterosklerotickým postižením v jiném řečišti identifikace stenózy umožňuje správnou léčbu a prevenci cévní mozkové příhody. U pacientů po cévní mozkové příhodě či TIA pomáhá sonografie karotid stanovit etiologii současného postižení s cílem naplánovat správnou léčbu a zabránit rekurenci příhody.

Prohlášení autora o možném střetu zájmů

Žádný střet zájmů.

Financování

Práce byla podpořena projektem UNCE 204010 Univerzity Karlovy v Praze.

Prohlášení autora o etických aspektech publikace

Jde o přehledový článek, a proto nebyl veden žádný nový výzkum.

Poděkování

Poděkování patří MUDr. Borisi Kožnarovi za poskytnutí obrázku s DSA stenózy karotidy a prof. RNDr. Marku Jindrovi, Ph.D., za pomoc s jazykovou korekturou anglické verze článku.

Literatura

- [1] WHO Report: WHO Global Status Report on Noncommunicable diseases 2014. WHO Press, Geneva, Switzerland, 2014.
- [2] A. Malmivaara, A. Meretoja, M. Peltola, et al., Comparing ischaemic stroke in six European countries. The EuroHOPE register study, *European Journal of Neurology* 22 (2015) 284–291.
- [3] R.N. Bryan, S.W. Wells, T.J. Miller, et al., Infarctlike lesions in the brain: prevalence and anatomic characteristics at MR imaging of the elderly: data from the Cardiovascular Health Study, *Radiology* 202 (1997) 47–54.
- [4] D.H. O'Leary, J.F. Polak, R.A. Kronmal, et al., Carotid-artery intima and media thickness as a risk factor for myocardial infarction and stroke in older adults. Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group, *New England Journal of Medicine* 340 (1999) 14–22.
- [5] J. Perk, G. De Backer, H. Gohlke, et al., European Guidelines on cardiovascular prevention in clinical practice (version 2012). The Fifth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *European Heart Journal* 33 (2012) 1635–1701.
- [6] Y. Zhang, E. Guallar, Y. Qiao, B.A. Wasserman, Is carotid intima-media thickness as predictive as other noninvasive techniques for the detection of coronary artery disease?, *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 34 (2014) 1341–1345.
- [7] H.M. Den Ruijter, S.A. Peters, T.J. Anderson, et al., Common carotid intima-media thickness measurements in cardiovascular risk prediction: a meta-analysis, *Journal of the American Medical Association* 308 (2012) 796–803.
- [8] A.V. Finn, F.D. Kolodgie, R. Virmani, Correlation between carotid intimal/medial thickness and atherosclerosis: a point of view from pathology, *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 30 (2010) 177–181.
- [9] Y. Inaba, J.A. Chen, S.R. Bergmann, Carotid plaque, compared with carotid intima-media thickness, more accurately predicts coronary artery disease events, *Atherosclerosis* 220 (2012) 128–133.
- [10] T. Wannarong, G. Parraga, D. Buchanan, et al., Progression of carotid plaque volume predicts cardiovascular events, *Stroke* 44 (2013) 1859–1865.
- [11] D.E. Jonas, C. Feltner, H.R. Amick, et al., Screening for asymptomatic carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis for the U.S. Preventive Services Task Force, *Annals of Internal Medicine* 161 (2014) 336–346.
- [12] M.L. LeFevre; U.S. Preventive Services Task Force, Screening for asymptomatic carotid artery stenosis: U.S. Preventive Services Task Force recommendation statement, *Annals of Internal Medicine* 161 (2014) 356–362.
- [13] Executive Committee for the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study, Endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis, *Journal of the American Medical Association* 273 (1995) 1421–1429.
- [14] MRC Asymptomatic Carotid Surgery Trial (ACST) Collaborative Group, Prevention of disabling and fatal strokes by successful carotid CEA in patients without recent neurological symptoms: randomized controlled trial, *Lancet* 363 (2004) 1491–1502.
- [15] M. Tendera, V. Aboyans, M.L. Bartelink, et al., ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral artery diseases, *European Heart Journal* 32 (2011) 2851–2906.

- [16] R.E. Latchaw, M.J. Alberts, M.H. Lev, et al., Recommendations for imaging of acute ischemic stroke. A scientific statement from the American Heart Association, *Stroke* 40 (2009) 3646–3678.
- [17] A.J. Grau, C. Weimar, F. Buggle, et al., Risk factors, outcome, and treatment in subtypes of ischemic stroke: the German stroke data bank, *Stroke* 32 (2001) 2559–2566.
- [18] M.S. Dhamoon, R.R. Sciacca, T. Rundek, et al., Recurrent stroke and cardiac risks after first ischemic stroke: the Northern Manhattan Study, *Neurology* 66 (2006) 641–646.
- [19] K.S. Hong, S. Yegiaian, M. Lee, et al., Declining stroke and vascular event recurrence rates in secondary prevention trials over the past 50 years and consequences for current trial design, *Circulation* 123 (2011) 2111–2119.
- [20] North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators, Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis, *New England Journal of Medicine* 325 (1991) 445–453.
- [21] European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group, MRC European carotid surgery trial: interim results for symptomatic patients with severe (70–99%) or with mild (0–29%) carotid stenosis, *Lancet* 337 (1991) 1235–1243.
- [22] P.M. Rothwell, R.J. Gibson, J. Slattery, et al., Equivalence of measurements of carotid stenosis. A comparison of three methods on 1001 angiograms, *European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group, Stroke* 25 (1994) 2435–2439.
- [23] A.V. Alexandrov, D.S. Brodie, A. McLean, et al., Correlation of peak systolic velocity and angiographic measurement of carotid stenosis revisited, *Stroke* 28 (1997) 339–342.
- [24] J.P. Carpenter, F.J. Lexa, J.T. Davis, Determination of duplex Doppler ultrasound criteria appropriate to the North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial, *Stroke* 13 (1996) 581–598.
- [25] E.G. Grant, C.B. Benson, G.L. Moneta, et al., Carotid artery stenosis: grayscale and Doppler ultrasound diagnosis – society of radiologists in ultrasound consensus conference, *Radiology* 229 (2003) 340–346.
- [26] K.A. Filis, F.R. Arko, B.L. Johnson, et al., Duplex ultrasound criteria for defining the severity of carotid stenosis, *Annals of Vascular Surgery* 16 (2002) 413–431.
- [27] L.M. Reilly, R.J. Lusby, L. Hughes, et al., Carotid plaque histology using real-time ultrasonography: clinical and therapeutic implications, *American Journal of Surgery* 146 (1983) 188–193.
- [28] E. Goes, W. Janssens, B. Maillet, et al., Tissue characterization of atheromatous plaques: correlation between ultrasound image and histological findings, *Journal of Clinical Ultrasound* 19 (1990) 611–617.
- [29] S.E. Nissen, P. Yock, Intravascular ultrasound: novel pathophysiological insights and current clinical applications, *Circulation* 103 (2001) 604–616.
- [30] A.F. AbuRahma, J.T. Wulu, B. Crotty, Carotid plaque ultrasonic heterogeneity and severity of stenosis, *Stroke* 33 (2002) 1772–1775.
- [31] T.J. Tegos, M. Sohail, M.M. Sabetai, et al., Echomorphologic and histopathologic characteristics of unstable carotid plaques, *American Journal of Neuroradiology* 21 (2000) 1937–1944.
- [32] A.S. Jahromi, C.S. Cinà, Y. Liu, C.M. Clase, Sensitivity and specificity of color duplex ultrasound measurement in the estimation of internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis, *Journal of Vascular Surgery* 41 (2005) 962–972.
- [33] A. Long, A. Lepoutre, E. Corbillon, A. Branchereau, Critical review of non- or minimally invasive methods (duplex ultrasonography, MR- and CT-angiography) for evaluating stenosis of the proximal internal carotid artery, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 24 (2002) 43–52.
- [34] K.W. Beach, D.F. Leotta, R.E. Zierler, Carotid Doppler velocity measurements: correlation is futile, *Vascular and Endovascular Surgery* 46 (2012) 466–474.
- [35] P.A. Armstrong, D.F. Bandyk, B.L. Johnson, et al., Duplex scan surveillance after carotid angioplasty and stenting: a rational definition of stent stenosis, *Journal of Vascular Surgery* 46 (2007) 460–466.
- [36] C. Ranke, H.J. Trappe, Blood flow velocity measurements for carotid stenosis estimation: interobserver variation and interequipment variability, *Vasa* 26 (1997) 210–214.
- [37] C.P. Oates, A.R. Naylor, T. Hartshorne, et al., Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 37 (2009) 251–261.
- [38] N. Aleksic, S. Tanaskovic, S. Radak, et al., Color duplex sonography in the detection of internal carotid artery restenosis after carotid endarterectomy. Comparison with computed tomographic angiography, *Journal of Ultrasound in Medicine* 30 (2011) 1677–1682.
- [39] H.M. Silvennoinen, S. Ikonen, M. Soinne, L. Valana, CT angiographic analysis of carotid artery stenosis: comparison of manual assessment, semiautomatic vessel analysis, and digital subtraction angiography, *American Journal of Neuroradiology* 28 (2007) 97–103.

Z anglického originálu online verze článku přeložila autorka.