

Recurrent carotid artery stenoses

Nawrotowe zwężenia tętnic szyjnych

Radosław Piotrowicz, Tomasz Grzela, Arkadiusz Migdalski, Arkadiusz Jawień

Department of General Surgery, Collegium Medicum Nicolaus Copernicus University, Bydgoszcz, Poland
(Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy)

Abstract

Recurrent stenoses belong to the gravest complications after interventions of patency restoration of carotid arteries. According to the clinical course and the histological picture of the arterial site after intervention, recurrent stenoses are classified as either early or late.

The term of early restenosis refers to arterial narrowing which occurs within the first two years following the procedure. In this period, recurrence of stenosis is caused by intimal hyperplasia. This type of stenosis bears a low risk of neurological complications.

Late stenoses occur in the later period after the initial procedure. They do not differ from the primary lesions on pathomorphological grounds, and their risk of causing neurological complications is similar to that of the primary arterial narrowings. Stenoses bearing high risk of complete occlusion of carotid artery or provoking neurological symptoms necessitate reoperation. Although long-term results of repeated operations are similar to those of primary interventions, higher risk of intra- and postoperative complications should be taken into account. The role of endovascular interventions in primary and secondary arterial stenoses remains not unequivocally determined.

Key words: internal carotid artery, endarterectomy, recurrent stenosis, myointimal hyperplasia

Streszczenie

Jednym z poważniejszych powikłań po udrożnieniach tętnic szyjnych są ich nawrotowe zwężenia. Ze względu na przebieg kliniczny oraz obraz histologiczny miejsca po operowanej tętnicy szyjnej wyróżnia się zwężenia nawrotowe wczesne i późne.

Mianem restenozy wczesnej określa się zwężenie, które powstaje w ciągu pierwszych 2 lat po zabiegu operacyjnym. Podłożem nawrotu zwężenia w tym okresie jest intymalna hiperplazja. Zwężenie to charakteryzuje się niskim ryzykiem powikłań neurologicznych.

Zwężenia późne są to zmiany powstające w późniejszym okresie po zabiegu. W badaniach patomorfologicznych nie różnią się one od zmian pierwotnych. Również ryzyko powikłań neurologicznych jest podobne jak w przypadku zwężeń pierwotnych. Konieczność reoperacji zachodzi w razie zwężeń zagrażających okluzją tętnicy szyjnej wewnętrznej lub w zmianach powodujących objawy neurologiczne. Wyniki odległe powtórnych zabiegów operacyjnych są podobne do operacji pierwotnych, jednak istnieje większe ryzyko powikłań śród- i pooperacyjnych. Nadal jednoznacznie nie określono roli zabiegów śródnaczyniowych w leczeniu zwężeń pierwotnych i wtórnych.

Słowa kluczowe: tętnica szyjna wewnętrzna, endarterektomia, nawrotowe zwężenie, miointymalna hiperplazja

Address for correspondence (Adres do korespondencji):

Prof. dr hab. med. Arkadiusz Jawień, Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej, Collegium Medicum UMK
ul. K. Ujejskiego 75, 85–168 Bydgoszcz, Poland
tel. (+48 52) 371 57 82
e-mail: ajawien@ceti.com.pl

The beginnings of surgery of carotid arteries reach back to the end of the 18th century, when Hebenstreit performed (the first) carotid artery ligation. Emerging new evidence of relationships between the presence of lesions in extracranial segments of internal carotid arteries and neurological incidents promoted further attempts at reconstructive procedures in stenosed vessels. Back in 1951 in Buenos Aires, Carrea resected the affected segment of an internal carotid artery and connected it to the external carotid artery. The first completely successful thrombendarterectomy of the internal carotid artery was performed by Michael DeBakey in 1953 in a patient who had suffered a cerebral stroke. However, the report concerning this intervention was only published 20 years later. The first intervention of internal carotid endarterectomy to be published was performed by Eastcott, Pickering and Rob in London in 1954 [1]. Shortly afterwards, DeBakey published a report on the method of internal carotid endarterectomy through eversion. Interventions on carotid arteries gained widespread interest only after the publication of the results of two clinical trials: the ECST (European Carotid Surgery Trial) [2] and the NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) [3]. Both trials demonstrated the efficacy of the above-mentioned procedures in patients with neurological symptoms and marked narrowing of the internal carotid artery. Later on, the procedure's efficacy was also proved in cases of asymptomatic stenoses [4]. The benefits for this group of patients, however, are more equivocal and may further decrease if the possibility of restenosis is considered. Current development of classical and Doppler ultrasonography techniques permits detailed and universal studies concerning this phenomenon. Two years have been accepted as the time criterion for differentiation of early and late recurrences in studies on restenosis. The narrowing of the vessel's diameter by more than 50% is considered as haemodynamically significant. Numerous studies carried out so far have permitted estimation of the risk of recurrence of a significant stenosis during the first year following the procedure to be approximately 10%. During the following years, the rate of restenosis gradually decreases. It reaches 3% and 2% in the second and the third years, respectively, and remains at 1% during consecutive years [5]. Recurrence of stenosis is a dynamical process. It is estimated that up to 25% of early changes may regress, while in 30–40% of patients the degree of stenosis increases [6–8]. The vast majority of early lesions remain asymptomatic and do not significantly increase the risk of neurological incidents compared to arteries bearing moderate or no lesions [9]. Fur-

Początki chirurgii tętnic szyjnych sięgają końca XVIII wieku, kiedy to Hebenstreit dokonał podwiązania tętnicy szyjnej. Pojawiające się nowe dowody na istnieniu powiązań pomiędzy zmianami w zewnątrzczaszkowych odcinkach tętnic szyjnych wewnętrznych a incydentami neurologicznymi skłaniały do podejmowania kolejnych zabiegów rekonstrukcji zwężonych naczyń. W 1951 roku w Buenos Aires Carrea wyciął chorobowo zmieniony odcinek tętnicy szyjnej wewnętrznej, a następnie zespolił ją z tętnicą szyjną zewnętrzną. Pierwszą w pełni skuteczną trombendarterectomię tętnicy szyjnej wewnętrznej wykonał w 1953 roku Michael DeBakey u pacjenta po udarze mózgu. Doniesienie o tym zabiegu ukazało się jednak dopiero ponad 20 lat później. Pierwszy zabieg endarterektomii tętnicy szyjnej wewnętrznej, który opisano, w 1954 roku przeprowadzili Eastcott, Pickering i Rob w Londynie [1]. Nieco później DeBakey opublikował pracę dotyczącą metody endarterektomii tętnicy szyjnej wewnętrznej przez wynicowanie. Zabiegi na tętnicach szyjnych zaczęto jednak przeprowadzać powszechnie dopiero po ukazaniu się wyników badań *European Carotid Surgery Trial* (ECST) [2] i *North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial* (NASCET) [3]. Dowiedziono wówczas ostatecznie ich skuteczności w leczeniu chorych z objawami neurologicznymi i znacznym stopniem zwężenia tętnicy szyjnej wewnętrznej. Nieco później potwierdzono efektywność tego typu zabiegów w przypadkach zwężeń bezobjawowych [4]. W tej grupie chorych odległe korzyści nie są jednak aż tak jednoznaczne. Mogą one ulec dalszemu pomniejszeniu, jeśli uwzględni się możliwość pojawienia się nawrotu zwężenia. Rozwój techniki ultrasonografii klasycznej i dopplerowskiej pozwolił na szczegółowe i powszechne badania tego zjawiska. W badaniach oceniających restenozę przyjęto okres 2 lat jako kryterium czasowe dla różnicowania nawrotów wczesnych i późnych. Zwężenie jest określane jako istotne hemodynamicznie, gdy przekracza 50% redukcji średnicy naczyń. Liczne, przeprowadzone dotychczas badania pozwalają określić ryzyko nawrotu istotnego zwężenia w pierwszym roku po zabiegu na poziomie około 10%. W kolejnych latach następuje stopniowy spadek ryzyka pojawienia się zwężenia — w drugim i trzecim roku wynosi ono odpowiednio 3% i 2%, a później utrzymuje się na poziomie 1% [5]. Powstawanie nawrotowego zwężenia jest procesem dynamicznym — szacuje się, że spośród zmian wczesnych aż w około 25% przypadków można się spodziewać regresji, a w 30–40% przypadków następuje nasilenie stopnia zwężenia [6–8]. W większości przypadków zmiany wczesne przebiegają bezobjawowo i nie zwiększają istotnie ryzyka incydentów neurologicznych w stosunku do tętnic niewiele lub

ther on, the risk of stroke due to an important stenosis increases significantly from 0.15 to 0.5% per year [10]. Arterial occlusion occurs in 1–4% of vessels operated on. In approximately 2/3 of cases, closure of an artery results in neurological symptoms, and the risk of consecutive stroke reaches as much as 5%/year [11, 12]. Factors potentially predisposing to restenosis include female sex, smoking habit, diabetes mellitus, arterial hypertension and hypercholesterolaemia. However, the results of the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study negate the significance of these correlations [13].

Operative technique has a fundamental influence on the risk of restenosis. It was noted that endarterectomy through eversion bears a significantly lower risk of recurrent stenosis compared to simple (primary) occlusion (1.7% vs. 9.3% in 23 months). Application of a patch also reduces the risk of restenosis (6.5% vs. 9.3%). A point worth noting is that both the eversion technique and the patch closure of the vessel did not bear an increased risk of intra- and postoperative complications [12, 14–16].

The employment of continuous Doppler wave-based and intraoperative USG devices did not demonstrate the presence of any defects in only 40% of operated vessels [17]. The remainder group included residual stenoses, fragments of the intima-media complex, disturbances of the flow spectra, and, more rarely, the presence of thrombi and vessel spasms. Residual stenoses constitute approx. 53% of the lesions, and are situated either in the beginning or in the end of the removed plaque, thus forming sills. Bands representing fragments of the lesion most often occur in locations of previously removed plaques. Based on their results in studies employing this method, Bandyk et al reopened 11% of vessels and in approx. 4–5% of cases corrected interior defects of the internal carotid artery [18]. Despite the possibility of regression of the lesions found during the procedure, they constitute a major risk factor of recurrent stenosis. This risk is proportional to the dimension of the primary lesion and may concern 16–25% of internal carotid arteries during the (first) year following intervention [15]. Shunt application may increase the risk of leaving in situ residual lesions [15, 19]. Preoperative ultrasonographic evaluation of the type of lesion permits a certain degree of estimation as to the risk of postoperative restenosis. Type I echolucent lesions have been shown to bear a much higher risk of recurrent stenosis compared to homogeneously echogenic ones (25% vs. 3% respectively in 7-year-long follow-up) [20]. This finding seems to result from sys-

wale niezmiennych [9]. W okresach późniejszych ryzyko udaru spowodowanego istotnym zwężeniem wzrasta znamienne z 0,15%/rok do 0,5%/rok [10]. Do zamknięcia tętnicy dochodzi w 1–4% operowanych tętnic. Zamknięcie tętnicy w około 2/3 przypadków wiąże się z objawami neurologicznymi, następcze ryzyko udaru wynosi do 5%/rok [11, 12]. Za czynniki mogące predysponować do nawrotu zwężenia uważa się płeć żeńską, palenie tytoniu, cukrzycę, nadciśnienie tętnicze i hipercholesterolemię, jednak wyniki badań *Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study* negują istotność tych współzależności [13].

Zasadniczy wpływ na ryzyko rozwoju nawrotowego zwężenia ma technika operacyjna. Stwierdzono, że endarterektomia wykonana metodą ewersyjną charakteryzuje się znamienne mniejszym ryzykiem powstania nawrotowego zwężenia w stosunku do prostego zamknięcia (1,7% vs. 9,3% w ciągu 23 miesięcy) [14]. Również zastosowanie łaty pozwala obniżyć ryzyko powstania restenozy (6,5% vs. 9,3%). Co istotne, wykonanie zabiegu metodą ewersyjną oraz zamknięcie naczynia za pomocą łaty nie wiązały się ze zwiększonym ryzykiem powikłań w okresie śród- i pooperacyjnym [12, 14–16].

W badaniach dopplerowskich za pomocą fali ciągłej i USG śródoperacyjnego wykazano, że tylko 40% operowanych naczyń nie zawiera żadnego defektu [17]. W pozostałych przypadkach stwierdza się resztkowe zwężenia, strzępy kompleksu intima-media, zaburzenia spektrum przepływów, rzadziej skrzepliny i skurcz naczyń. Resztkowe zwężenia stanowią około 53% znajdowanych zmian. Występują głównie na początku bądź na końcu usuwanej blaszki, formując progi. Pasma będące fragmentami zmiany najczęściej występują w miejscach po usuniętej blaszce. Bandyk i wsp. na podstawie uzyskiwanych tą metodą wyników aż w 11% ponownie otwierali naczynia — w około 4–5% przypadków poprawiano defekty znajdujące się w świetle tętnicy szyjnej wewnętrznej [18]. Mimo możliwości pewnej regresji stwierdzanych śródoperacyjnie nieprawidłowości stanowią one istotny czynnik ryzyka rozwoju zwężenia nawrotowego. Ryzyko to jest proporcjonalne do wielkości pierwotnego defektu i może dotyczyć 16–25% tętnic szyjnych wewnętrznych w ciągu roku od zabiegu operacyjnego [15]. Stwierdzono, że zastosowanie shuntów może zwiększać ryzyko pozostawienia zmian resztkowych [15, 19]. Przedoperacyjna, ultrasonograficzna ocena charakteru zwężenia pozwala w pewnej mierze wnioskować o ryzyku nawrotu zwężenia w okresie pooperacyjnym. Jak wykazano, zmiany typu I — bezchowe — charakteryzują się znacznie wyższym ryzykiem nawrotu zwężenia niż zmiany o jednorodnej echogenności (25% vs. 3% w ciągu 7 lat obserwacji) [20]. Wydaje się, że

temic factors, since other cardiovascular complications are more frequently observed in the group of patients with echolucent lesions. Postoperative ultrasonography may demonstrate the potential presence of "imperfections" following the procedure but may also permit concluding as to the healing process that takes place in the operated vessel [21]. Immediately after the procedure, single line is visible on the posterior wall of the vessel in the site of the removed lesion. It represents the echo produced at the boundary between adventitia and intima, the latter being fused with echolucent bloodstream in the ultrasonographic image. With time, and as the process of reparation proceeds, in most patients the image of double line is restored, typical for the healthy vessel. The two echoes are produced at the boundaries between bloodstream and endothelium and between media and adventitia. In cases when no restoration of a typical USG image is observed after 3–6 months, a high probability of recurrent stenosis should be envisaged. The image of restenosis developing within the first years following the procedure is significantly different from the one of primary or late stenosis [22]. Early lesions usually have smooth surface, are hypoechogenic and may sporadically be ulcerated or haemorrhagic (8% vs. 62%). The above-mentioned features reflect the low incidence of neurological symptoms observed in these patients.

Long-term follow-ups of patients with recurrent stenosis have shown the eventual necessity of a second intervention in as much as 50% of cases [23]. This is due to the occurrence of neurological symptoms or imminent occlusion. Frozen section and histopathological examinations confirm the distinct characteristics of early recurrences compared to late stenoses and primary lesions [24]. Early lesions demonstrate intimal hyperplasia, are usually adherent to the vessel wall, have a smooth surface, are soft and without calcifications. Significantly more often, histological evaluation reveals the presence of smooth muscle cells surrounded by proteoglycans and covered by a thin layer of platelet-rich thrombus. The further from the primary intervention, the more foamy cells, collagen fibres and calcifications may be found, and the thrombus becomes dominated by fibrin. Most often in these cases, patch angioplasty procedures are performed, followed by carotid artery resection and implantation of autologous or prosthetic by-pass grafts [25, 26]. Long-term results are similar to those of the primary interventions. However, a higher incidence of local intra- and postoperative complications should be taken into consideration, including the occurrence of haematomas and, first of all, injuries of cranial nerves [10, 25].

wynika to z czynników ogólnoustrojowych, ponieważ w grupie chorych ze zmianami bezdechowymi częściej występują również inne powikłania sercowo-naczyniowe. Badania ultrasonograficzne wykonywane w okresie poporacyjnym oprócz wykrywania ewentualnych niedoskonałości zabiegu pozwalają również wnioskować o procesach gojenia zachodzących w operowanym naczyniu [21]. Bezpośrednio po zabiegu w miejscu usuniętej zmiany na tylnej ścianie naczynia widoczna jest pojedyncza linia będąca echem powstającym na granicy przydanki z błoną wewnętrzną, która zlewa się w obrazie ultrasonograficznym z bezdechową przestrzenią strumienia krwi. W miarę postępowania procesów naprawczych w większości przypadków dochodzi do odtworzenia typowego dla zdrowego naczynia obrazu podwójnej linii — echa powstają na granicy krew–endotelium oraz media–przydanka. W przypadkach, w których po upływie 3–6 miesięcy nie stwierdza się odtworzenia typowego obrazu, istnieje duże prawdopodobieństwo nawrotu zwężenia. Obraz rozwijającej się w ciągu pierwszych lat po zabiegu restenozy znamienne różni się od zwężeń pierwotnych i późnych [22]. Zmiany wczesne mają zazwyczaj gładką powierzchnię, są hipoechogeniczne, sporadycznie występują owrzodzenia lub ogniska krwotoczne (8% vs. 62%). Cechy te tłumaczą rzadkie występowanie objawów neurologicznych w tych przypadkach.

Długotrwałe obserwacje pacjentów, u których stwierdzono nawrotowe zwężenie, wykazały jednak, że ostatecznie aż w 50% przypadków konieczna jest ponowna interwencja [23], której powodem są pojawiające się objawy neurologiczne lub zagrażające zamknięcie. Badania śródoperacyjne i histopatologiczne potwierdzają odmienny charakter nawrotów wczesnych w stosunku do zwężeń późnych i pierwotnych zmian [24]. Zmiany wczesne mają charakter intymalnej hiperplazji, zwykle ściśle przylegają do ściany, mają gładką powierzchnię, a ponadto są miękkie, bez cech uwapnienia. W badaniu histologicznym znamienne częściej znajduje się komórki mięśni gładkich otoczone proteoglikanami i pokryte cienką warstwą skrzepliny bogatej w płytki. Wraz z upływem czasu od operacji pierwotnej w usuwanym materiale zaczynają dominować komórki piankowate, włókna kolagenowe, zwapnienia; w skrzeplinie przeważa włóknik. Spośród zabiegów wykonywanych w tych przypadkach najczęściej przeprowadza się zabieg plastyki za pomocą łąty, nieco rzadziej zachodzi potrzeba resekcji tętnicy szyjnej i wstawienia pomostu z materiału własnego lub protezy [25, 26]. Wyniki odległe są zbliżone do wyników uzyskanych po wykonaniu zabiegów pierwotnych. Należy się jednak liczyć z częstszym występowaniem miejscowych powikłań śród- i pooperacyjnych, takich jak krwiaki, a przede wszystkim uszkodzeń nerwów czaszkowych [10, 25].

Endovascular interventions should not be ignored when considering procedures on carotid arteries. To date, there are no results of long-term follow-ups in larger populations of patients due to the constant and dynamic progress in these techniques. The results of the randomised Carotid and Vertebral Artery Transluminal Angioplasty Study (CAVATAS) [27] were published in 2001. In the first year after intervention, stenosis of over 70% or complete occlusion of the artery was observed significantly more often in the group of patients after endoluminal interventions compared to those who underwent operations involving classical methods (18% vs. 5%). No result improvement was observed in the subgroup with implanted stents. Endovascular procedures also have their place in the treatment of recurrent stenoses. Their advantages include the lack of necessity of dissecting the scar after the primary procedure, which permits avoiding local complications typical for surgical techniques. In one of the few published reports comparing effects of endovascular and surgical procedures, the minimally invasive methods resulted in less beneficial patency ratios of the dilated vessels. No stenoses of over 50% were observed in the first, second or third year of follow-up in the group of operated patients, while in the group submitted to endovascular interventions, 6%, 35% and 56% of significant restenoses were observed, respectively [28]. In view of the constant progression and improvement of stenting techniques, as well as the increasing experience of surgeons performing these procedures, improvement of the results of endoluminal interventions may be expected.

Until now, no uniform methods of prophylaxis of recurrent stenoses have been determined. Modification of the risk factors of atherosclerosis is believed important. Attempts to administer pharmacological prophylaxis did not demonstrate the expected results in clinical trials. The observed improvement in survival prognosis results from the prevention of cardiac events.

Follow-up duplex scan examinations of the operated arteries during the first 2–3 years following the procedure give indications for repeated intervention in not more than 1% of cases. This fact is due to the benign and asymptomatic course of recurrent stenoses as well as the low risk of their occlusion. However, the control of potential contralateral stenoses is more important, since in up to 12% of cases, increases in their degree are observed. Initial stenoses of over 50% bear a higher risk of progression to stenoses of over 75% compared to benign narrowings (31% vs. 2%). This issue concerns approximately 15% of the patients submitted to operative procedures [29].

Mówiąc o zabiegach na tętnicach szyjnych, nie można pominąć zabiegów śródnaczyniowych. Ze względu na ciągły dynamiczny rozwój tych technik nie ma jeszcze wyników długotrwałych obserwacji u większej liczby chorych. W 2001 roku opublikowano wyniki randomizowanych badań *Carotid and Vertebral Artery Transluminal Angioplasty Study (CAVATAS)* [27]. Rok po interwencji zwężenie większe niż 70% lub zamknięcie znamienne częściej stwierdzano w grupie osób, u których wykonano interwencje śródnaczyniowe niż u pacjentów, u których przeprowadzono klasyczne zabiegi operacyjne (18% vs. 5%). W podgrupie, w której stosowano stenty, nie uzyskano poprawy wyników. Procedury endowaskularne stosuje się również w leczeniu zwężeń nawrotowych. Jedną z ich zalet jest tu uniknięcie konieczności preparowania w bliźnie po zabiegu pierwotnym, co pozwala uniknąć typowych dla chirurgii powikłań miejscowych. W jednym z nielicznych badań porównujących efekty procedur endowaskularnych i chirurgicznych metody minimalnie inwazyjne charakteryzowały się gorszymi odsetkami drożności poszerzanych naczyń. W grupie chorych operowanych nie stwierdzano zwężeń większych niż 50% w pierwszym, drugim i trzecim roku obserwacji, natomiast w grupie pacjentów, u których przeprowadzono zabiegi śródnaczyniowe występowało odpowiednio 6%, 35% i 56% istotnych restenoz [28]. Ze względu na stały postęp i udoskonalanie metod stentowania oraz rosnące doświadczenie osób wykonujących te procedury można się spodziewać poprawy efektów interwencji śródnaczyniowych.

Dotychczas nie udało się jednoznacznie ustalić metod zapobiegania powstawaniu zwężeń nawrotowych. Za istotne uważa się modyfikację czynników ryzyka powstawania miażdżycy. Próby kliniczne zastosowaniem profilaktyki farmakologicznej nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Lepsze rokowanie dotyczące przeżycia wynika z zapobiegania zdarzeniom sercowym.

Kontrolne badania operowanych tętnic wykonywane w ciągu pierwszych 2–3 lat po zabiegu metodą *duplex scan* jedynie w 1% przypadków stanowią wskazanie do reinterwencji. Wynika to z łagodnego, bezobjawowego przebiegu zwężeń nawrotowych, a także z niewielkiego ryzyka ich zamknięcia. Znacznie istotniejsza jest jednak kontrola ewentualnych zwężeń po stronie przeciwległej, gdyż aż w 12% przypadków stwierdza się ich narastanie. Stwierdzono, że w przypadku zwężeń wyjściowo większych niż 50% ryzyko progresji do stenozy większej niż 75% jest znacznie większe niż w zwężeniach łagodnych (31% vs. 2%). Problem ten dotyczy około 15% operowanych chorych [29].

The role of surgery of carotid arteries is well documented in secondary prophylaxis of neurological incidents caused by lesions in extracranial segments of these arteries. The benefits of interventions on asymptomatic stenoses are less explicit, which is, in part, due to the occurrence of restenoses. Long-term results of endovascular procedures remain equivocal but probably they will improve as intervention techniques develop and as operating teams gain experience.

References

- Małek AK, Skórski M, Pogorzelski R (2001) Historia chirurgii tętnic szyjnych. *Blok Operacyjny*, 12: 13.
- European Carotid Surgery Trial: Interim results for symptomatic patients with severe (70–90%) or with mild (0–29%) carotid stenosis (1991) *Lancet*, 337: 1235–1243.
- North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade stenosis (1991) *N Engl J Med*, 325: 445–453.
- Executive Committee for the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study. Endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis (1995) *JAMA*, 273: 1421–1428.
- Frericks H, Kievit J, Baalen J, Bockel JH (1998) Carotid Recurrent Stenosis and Risk of Ipsilateral Stroke. A Systematic Review of the Literature. *Stroke*, 29: 244–250.
- Zbornikova V, Elfstrom J, Lassvik C, Johansson J, Bjornlert U (1986) Restenosis and occlusion after surgery assessed by duplex scanning and digital subtraction angiography. *Stroke*, 17: 1137–1142.
- Cook J, Thompson B, Barnes R (1990) Is routine duplex examination after carotid endarterectomy justified? *J Vasc Surg*, 12: 334–340.
- Samson R, Showalter D, Yunis J, Dorsay D, Ulman H, Silverman S (1999) Hemodynamically significant early recurrent carotid stenosis: an often self-reversing condition. *J Vasc Surg*, 30: 446–452.
- Szabo A, Bruzda E, Dosa E (2004) Long-term restenosis rate of eversion endarterectomy on the internal carotid artery. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 27: 537–539.
- Washburn W, Mackey W, Belkin M, O'Donnell T (1992) Late stroke after carotid endarterectomy: the role of recurrent stenosis. *J Vasc Surg*, 15: 1032–1037.
- O'Donnell T, Rodriguez A, Fortunato J, Welch H, Mackey W (1996) Management of recurrent carotid stenosis: should asymptomatic lesions be treated surgically. *J Vasc Surg*, 24: 207–212.
- Carballo R, Towne J, Seabrook G, Freischlag J, Cambria R (1996) An outcome analysis of carotid endarterectomy: the incidence and natural history of recurrent stenosis. *J Vasc Surg*, 23: 749–754.
- Moore W, Kempczinski R, Nelson J, Toole J (1998) Recurrent carotid stenosis. Results of the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study. *Stroke*, 29: 2018–2025.
- Katras T, Baltazar U, Sutterfield W, Harvill I, Stanton P (2001) Durability of eversion carotid endarterectomy: comparison with primary closure and carotid patch angioplasty. *J Vasc Surg*, 34: 453–458.
- Cao P, Giordano G, De Rango P, Zannetti S, Chiesa R, Coppi G, Palombo D, Peinetti F, Spartera C, Stancanelli V, Vecchiati E (2000) Eversion versus conventional carotid endarterectomy: late results of a prospective multicenter randomized trial. *J Vasc Surg*, 31: 19–30.
- Cao P, De Rango P, Zanetti S (2002) Eversion vs Conventional carotid endarterectomy: a systemic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 23: 195–201.
- Reilly LM, Okuhn SP, Bennet JB, Ehrenfeld WK, Goldstone J, Stoney RJ (1990) Recurrent carotid stenosis: a consequence of local or systemic factors? The influence of un-repaired technical factors. *J Vasc Surg*, 11: 448–460.
- Bandyk DF, Kaebnick HW, Adams MB, Towne JB (1988) Turbulence occurring after carotid bifurcation endarterectomy: a harbinger of residual and recurrent carotid stenosis. *J Vasc Surg*, 7: 261–274.
- Green RM, McNamara K, Ouriel K, DeWeese JA (1991) The clinical course of residual carotid arterial disease. *J Vasc Surg*, 13: 112–120.
- Lapis CD, Kakisis JD, Dimitroulis DA, Kostakis AG (2002) The Impact of the Carotid Plaque Type on Restenosis and Future Cardiovascular Events: A 12-Year Prospective Study. *Eur J Vasc Endovasc Surgery*, 24: 239–244.
- Caps M, Hatsukami T, Primozich J, Bergelin R, Strandness D (1996) A clinical marker of arterial wall healing: the double line. *J Vasc Surg*, 23: 87–94.
- O'Donnell T, Callow A, Scott G, Heggerick P, Mackey W (1985) Ultrasound characteristics of recurrent carotid disease. Hypothesis explaining the low incidence of symptomatic recurrence. *J Vasc Surg*, 2: 26–41.
- Ricotta J, O'Brein-Irr M (1997) Conservative management of residual and recurrent lesions after carotid endarterectomy. Long term results. *J Vasc Surg*, 26: 963–972.

24. Clagett P, Robinowitz M, Youkey J, Fisher D, Fry R, Myers S, Lee E, Collins G, Virmani R (1986) Morphogenesis and clinicopathologic characteristics of recurrent carotid disease. *J Vasc Surg*, 3: 10–23.
25. Treiman G, Jenkins J, Edwards W, Barlow W, Martin R, Mulherin J (1992) The evolving surgical management of recurrent carotid stenosis. *J Vasc Surg*, 16: 354–363.
26. Rockman C, Riles T, Landis R, Lamparello P, Giangola G, Adelman M, Jacobowitz G (1999) Redo carotid surgery: an analysis of materials and configurations used in carotid reoperations and their influence on perioperative stroke and subsequent recurrent stenosis. *J Vasc Surg*, 29: 72–81.
27. Endovascular versus surgical treatment in patients with carotid stenosis in the Carotid and Vertebral Artery Transluminal Angioplasty Study (CAVATAS): a randomised trial (2001). *Lancet*, 357: 1729–1737.
28. AbuRahma A, Bates M, Stone P, Wulu J (2001) Comparative study of operative treatment and percutaneous transluminal angioplasty/stenting for recurrent carotid disease. *J Vasc Surg*, 34: 831–838.
29. Roth S, Back M, Bandyk D, Avino A, Riely V, Johnson B (1999) A rational algorithm for duplex scan surveillance after carotid endarterectomy. *J Vasc Surg*, 30: 453–460.