

DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.2.2024.176-188>
УДК: 616.133-007.271-073.432.19:616.831-005.6-036



Значущість ультразвукографічних критеріїв у комплексній радіологічній оцінці каротидних стенозів «високого ризику»

Глоба М.В., <https://orcid.org/0000-0001-5112-5143>, e-mail: dr.mgloba@gmail.com

Деркач Б.В., <https://orcid.org/0000-0002-6728-7646>, e-mail: docyzd@gmail.com

Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика
Міністерства охорони здоров'я України, Київ, Україна

The significance of ultrasonographic characteristics in the comprehensive radiological assessment of «high risk» carotid stenoses

Globa M.V., <https://orcid.org/0000-0001-5112-5143>, e-mail: dr.mgloba@gmail.com

Derkach B.V., <https://orcid.org/0000-0002-6728-7646>, e-mail: docyzd@gmail.com

Shupyk National University of Healthcare of Ukraine
of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Ключові слова:

каротидний стеноз, ультразвукографія, жорсткість бляшки, еластографія зсувної хвилі, мікровазуляризація бляшки.

Для кореспонденції:

Глоба Марина Василівна

Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика
Міністерства охорони здоров'я України,
кафедра радіології;
вул. Дорогожицька, буд. 9, м. Київ,
Україна, 04112;
e-mail: dr.mgloba@gmail.com

© Глоба М.В., Деркач Б.В., 2024

РЕЗЮМЕ

Актуальність. Поширеність у світі асимптомного каротидного стенозу потребує існування алгоритму для визначення пацієнтів з високим ризиком ішемічного інсульту. Оцінка каротидної атеросклеротичної бляшки (АБ) на основі її морфології та складу, на додаток до кількісного параметра «стеноз», можлива за допомогою комплексу радіологічних досліджень, зокрема, ультразвукографічних, які можуть бути поглиблені новими ультразвуковими техніками.

Мета роботи – визначити ультразвукографічні критерії вразливої каротидної бляшки на підставі оцінки характеристик бляшки з використанням сучасних ультразвукових технік.

Матеріали та методи. Робота базується на аналізі даних 105 пацієнтів, віком 41–84 роки, яким за даними ультразвукографії (УС) встановлено стеноз внутрішньої сонної артерії (ВСА). Методи обстеження – клінічні, дуплексна УС з включенням технік «чудового мікровазулярного зображення» (SMI) для виявлення мікровазуляризації бляшки та еластографії зсувної хвилі (SWE) для оцінки жорсткості бляшки, МРТ головного мозку, МСКТ-ангіографія (МСКТА), статистичні. Сформовано 2 зіставлювані за віком групи: група з симптомним каротидним стенозом (СКС) – 55 пацієнтів, та група з асимптомним каротидним стенозом (АКС) – 50 пацієнтів.

Результати та їх обговорення. Статистично значимі відмінності в групах СКС та АКС встановлено за такими характеристиками каротидних бляшок: кількісні критерії – максимальна товщина АБ ($p = 0,02$), у градації товщина АБ більше 3,5 мм – ризик інсульту підвищується в 2,2 рази ($p = 0,03$), ступінь стенозування ВСА за протоколом NASCET ($p = 0,01$ по правій ВСА), показник щільності бляшки за даними SWE ($p = 0,001$); якісні критерії – ехо-тип бляшки за класифікацією Gray-Weale ($p = 0,001$), наявність мікровазуляризації за даними SMI ($p = 0,04$). Встановлено кореляційні зв'язки між показниками жорсткості АБ за даними SWE та МСКТА ($p = 0,60$; $p = 0,004$), за даними SWE та ехо-типом АБ ($r = 0,56$; $p = 0,006$).

Висновки. В комплекс радіологічної оцінки каротидних стенозів з високим ризиком ішемічних подій до стандартних УС критеріїв оцінки ступеня стенозу та ехо-типу АБ доцільно додати визначення товщини бляшки більше 3,5 мм, низьку жорсткість бляшки за даними SWE, наявність мікровазуляризації за даними SMI.

Для цитування:

Глоба М.В., Деркач Б.В. Значущість ультразвукографічних критеріїв у комплексній радіологічній оцінці каротидних стенозів «високого ризику». Український радіологічний та онкологічний журнал. 2024. Т. 32. № 2. С. 176–188. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.2.2024.176-188>

Key words:

carotid stenosis, ultrasound, stiffness of the plaque, shear wave elastography, superb microvascular imaging.

For correspondence:

Globa Maryna Vasilievna
Shupyk National University of Healthcare of Ukraine of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
9 Dorogozhitskaya Str., Kyiv, Ukraine, 04112;
e-mail: dr.mgloba@gmail.com

© Globa M.V., Derkach B.V., 2024

ABSTRACT

Background. The prevalence of asymptomatic carotid stenosis (ACS) requires the existence of an algorithm to identify patients at risk of ischemic stroke. Assessment of carotid atherosclerotic plaque (AP) based on its morphology and composition in addition to the quantitative parameter «stenosis» is possible using a complex of radiological studies including ultrasonographic ones, that can be deepened by new ultrasound techniques.

Purpose – define ultrasonographic criteria for vulnerable carotid plaque based on evaluation of plaque characteristics using current ultrasonic techniques.

Materials and methods. The study is based on the analysis of data obtained from 105 patients aged 41 to 84, diagnosed with stenosis of the internal carotid artery (ICA) according to ultrasonography (US). Examination methods – clinical, duplex US with the inclusion of shear wave elastography (SWE) and superb microvascular imaging (SMI) techniques to assess plaque stiffness and plaque microvascularisation; brain MRI, MSCT angiography (MSCTA), statistical. Two age-matched group were formed: a group with symptomatic carotid stenosis (SCS), 55 patients, and a group with asymptomatic carotid stenosis (ACS), 50 patients.

Results. Statistically significant differences in the groups of patients with and without stroke were determined according to the following parameters of carotid plaques: quantitative criteria – maximum thickness ($p = 0,02$), with an AP thickness of more than 3.5 mm, the risk of stroke increases 2.2 times ($p = 0,03$), stenosis degree according to the NASCET protocol ($p = 0,01$ in the right ICA), plaque stiffness indicator according to SWE data ($p = 0,001$); qualitative criteria – type of plaque echogenicity according to the Gray-Weale classification ($p = 0,001$), presence of microvascularization according to SMI data ($p = 0,04$). Correlation of AP stiffness indicators according to SWE and MSCTA data ($p = 0,60$; $p = 0,004$) was established, as well as between AP stiffness according to SWE data and echo- type of AP ($r = 0,56$; $p = 0,006$).

Conclusions. Determination of plaque thickness greater than 3.5 mm, low plaque stiffness according to SWE data, the presence of microvascularization according to SMI data it is advisable to add to the complex of radiological assessment of carotid stenosis with a high risk of ischemic events, in addition to the standard US criteria of stenosis degree and AP echo-type.

For citation:

Globa MV, Derkach BV. The significance of ultrasonographic characteristics in the comprehensive radiological assessment of «high risk» carotid stenoses. *Ukrainian journal of radiology and oncology*. 2024;32(2):176–188. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.2.2024.176-188>

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Стаття є фрагментом дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора філософії кафедри радіології Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України Б.В. Деркача «Комплексна ультрасонографічна діагностика каротидних стенозів в оцінці ризику атеротромботичного інсульту», номер державної реєстрації: 0124U002760, прикладна, термін виконання: 2020–2024 рр., науковий керівник – доктор медичних наук, старший дослідник М.В. Глоба.

Relationship with academic programs, plans and themes

The article is a fragment of the dissertation of a doctoral candidate at the Department of Radiology of Shupik National University of Healthcare of Ukraine the Ministry of Health of Ukraine, B.V. Derkach «Comprehensive ultrasonographic diagnosis of carotid stenoses in the risk assessment of atherothrombotic stroke», state registration number: 0124U002760, applied research, period for performance: 2020–2024, supervisor – Doctor of Medical Sciences, senior researcher M.V. Globa.

ВСТУП

Поширеність асимптомного каротидного стенозу (АКС) зі зрушенням просвіту понад 50% у пацієнтів віком від 30 до 79 років, за даними глобального мета-аналізу 2020 року, становить 1,5% (95% ДІ 1,1–2,1), і це означає збільшення на 59% з 2000 року [1]. Такі дані підкреслюють актуальність питання існування алгоритму для визначення пацієнтів з АКС з високим ризиком ішемічного інсульту.

Підходи до оцінки АКС лише за ступенем стенозування просвіту судини в аспекті лікування та профілактики останнім часом змінюються. Сучасні

INTRODUCTION

The prevalence of asymptomatic carotid stenosis (ACS) with a narrowing of lumen of more than 50% in patients from 30 to 79 y.o. according to the 2020 global meta-analysis is 1.5% (95% IQR 1.1-2.1), and this means an increase by 59% since 2000 [1]. Such data highlight the relevance of the existence of a validated algorithm used to identify patients with ACS at high risk of ischemic stroke.

Approaches to the assessment of ACS only by the degree of stenosis of the vessel lumen in the aspect of treatment and prevention have recently been changing.

неінвазивні методи візуалізації стенозів сонних артерій продемонстрували свою здатність характеризувати особливості атеросклеротичних бляшок (АБ) як предикторів майбутніх ішемічних подій, пропонує значний внесок у стратифікацію груп ризику. Рекомендації з клінічної практики Європейського товариства кардіологів 2017 р. радять оцінювати на додаток до ступеня АКС характеристики зображення бляшок, які можуть вказувати на підвищений ризик іпсилатерального інсульту. Сюди входять, серед іншого, внутрішньобляшковий крововилив або збагачене ліпідами некротичне ядро – на магнітно-резонансній томографії (МРТ), і великі ехопрозорі бляшки або збільшення гіпоехогенних ділянок – на ультразвуковому дослідженні [2].

У клінічних практичних рекомендаціях Європейського товариства судинної хірургії (ESVS) наголошується на важливості оцінки вразливості бляшок. Так, рекомендації ESVS 2017 р. були першими, що запропонували клінічні/візуалізаційні критерії для виявлення вищого ризику інсульту в когорті пацієнтів з АКС, які отримують медикаментозну терапію, і яких можна націлити на реваскуляризацію. Представлені шість критеріїв «високого ризику інсульту» були підтверджені мета-аналізом 64 обсерваційних досліджень 2020 року, в якому отримано нові дані та запропоновано дев'ять критеріїв «високого ризику» у пацієнтів з АКС. Вони включали наявність ліпідного або некротичного ядра, оточеного фіброзною тканиною з можливою кальцифікацією за даними МРТ, що відповідали IV-V типам бляшки за морфологічною класифікацією Американської кардіологічної асоціації (АНА); бляшку VI типу за АНА з поверхневим дефектом, крововиливом або тромбом за даними МРТ; ехопрозорість бляшки; велике некротичне ядро, багате ліпідами; «німий» інфаркт мозку; тонкий/розірваний фіброзний ковпачок; виразка бляшки; внутрішньобляшковий крововилив, порушення цереброваскулярної реактивності і спонтанна мікроемболізація за даними транскраніальної доплерографії [3].

Рекомендації ESVS 2023 р. посиляються на дані мета-аналізів з клінічних та візуальних чинників підвищеного ризику пізнього інсульту в пацієнтів з АКС зі ступенем стенозу понад 50%. Серед них представлені, зокрема, ультрасонографічні (УС) чинники – ехопрозорість бляшки, яка підвищує ризик ішемічної події в 2,6 рази, порівняно з ехоциальною АБ, а також велика площа бляшки у пацієнтів зі стенозом понад 70% з підвищенням ризику в 2,0–5,8 рази відповідно збільшенню площі АБ більше 40 та 80 мм² відповідно [4].

Незважаючи на існуючі системи оцінки окремих модальностей АБ (наприклад, модифіковані типи уражень АНА для МРТ, оцінка каротидних бляшок для ультразвукового дослідження), універсальної класифікації для різних візуальних методів оцінки АБ не існує. Використовуючи підхід мультимодального аналізу група експертів визнала необхідність розробки системи класифікації каротидної бляшки та її визначальних характеристик з метою систематизації візуальної оцінки та звітності. Запропонована класифікація Plaque-RADS запроваджує оцінку тяжкості атеросклеротичного ураження на основі морфології та складу каротидної АБ на додаток до кількісного параметра «стеноз» за допомогою комплексу радіологічних досліджень, що включають ультразвук,

Current non-invasive carotid stenoses imaging techniques have demonstrated their ability to characterize atherosclerotic plaque (AP) features as predictors of future ischemic events, offering significant contribution to risk group stratification. The 2017 European Society of Cardiology Clinical Practice Guidelines advise assessing, in addition to the degree of ACS, the characteristics of plaque imaging, which may indicate an increased risk of ipsilateral stroke. This includes, among other things, intraplaque hemorrhage or lipid-enriched necrotic nucleus in magnetic resonance imaging (MRI) and large echotransparent plaques or enlargement of hypoechogenic sites in ultrasound (US) examination [2].

Clinical practice guidelines from the European Society for Vascular Surgery (ESVS) emphasize the importance of assessing plaque vulnerability. Thus, the 2017 ESVS recommendations were the first to propose clinical and imaging criteria to identify a higher risk of stroke in a cohort of patients with ACS who can be targeted for revascularization. The 6 «high risk stroke» criteria presented were supported by the meta-analysis of 64 observational studies in 2020, which obtained new data and proposed 9 «high risk» criteria in patients with ACS. These included the presence of a lipid or necrotic nucleus surrounded by fibrous tissue with possible calcification shown by MRI data consistent with IV–V plaque types according to the morphological classification of the American Heart Association (AHA); VI-type plaque according to AHA with surface defect, MRI-registered hemorrhage or blood clot; plaque echotransparency; a large necrotic nucleus rich in lipids; «mute» brain infarction; thin/ruptured fibrous cap; plaque ulcer; intraplaque hemorrhage, impaired cerebrovascular reactivity and spontaneous microembolization according to transcranial dopplerography [3].

The 2023 ESVS guidelines cite data from meta-analyses of clinical and visual factors of increased risk of late stroke in patients with ACS with a stenosis degree higher than 50%. Among them, ultrasonographic (US) factors are presented – plaque echo-transparency, which increases the risk of an ischemic event 2.6 times compared to echodense AP, as well as a large plaque area in patients with a greater than 70% stenosis and a 2.0–5.8 times risk increase [4].

Despite existing assessment systems for individual AP modalities (e.g. modified AHA lesion types for MRI, carotid plaque assessment for US), there does not exist any universal classification for different visual methods of AP assessment. Using a multimodal analysis approach, a team of experts has proposed a classification of the carotid plaque and its defining characteristics for the purpose of systematization of visual assessment and reporting. The proposed Plaque-RADS classification introduces an assessment of the severity of atherosclerotic lesion based on the morphology and composition of carotid AP in addition to the quantitative parameter «stenosis» with the help of a set of radiological studies involving ultrasound, multispiral computed tomographic angiography (MSCTA) and MRI, with categories from 1 (complete absence of plaques) up to 4 (a complicated plaque). The criteria for plaque evaluation include maximum wall thickness, a fibrous cap; intraplaque hemorrhage; lipid-saturated necrotic nucleus, as well as «additional signs» of plaque vulnerability, namely inflammation and neovascularization

мультиспіральну комп'ютерну томографічну ангиографію (МСКТА) та МРТ, з категоріями від 1 (повна відсутність бляшки) до 4 (ускладнена бляшка). У критерії оцінки бляшки включено максимальну товщину стінки, фіброзний ковпак; внутрішньобляшковий крововилив; насичене ліпідами некротичне ядро, а також «допоміжні ознаки» вразливості бляшок, а саме запалення і неоваскуляризація бляшок, позитивне ремоделювання сонної артерії, прогресування стенозу та кальцифікація, що можуть бути додані до категорій 3 та 4 [5].

На основі представленого підходу УС діагностики серед радіологічних методів оцінки АБ підлягають категорії з 2 до 3а, інші визначаються з підключенням МРТ та МСКТА [5]. Так, УС оцінці з основних критеріїв доступні: максимальна товщина стінки (товщина АБ), яка розглядається в категоріях до 3 мм та ≥ 3 мм, останню розглядають як таку, що підвищує ризик ускладнень; товстий фіброзний ковпак (покришка), зона низької щільності, яку може представляти насичене ліпідами некротичне ядро або внутрішньобляшковий крововилив. З допоміжних критеріїв традиційна УС здатна оцінити кальцифікацію та позитивне ремоделювання.

Втім, сучасні УС техніки поглиблюють діагностичні можливості структурної характеристики АБ та здатні доповнити традиційну УС оцінку.

Ідентифікація вразливої каротидної бляшки є багатообіцяючим клінічним застосуванням еластографії зсувної хвилі (Shear Wave Elastography – SWE). Дослідження показують хорошу відтворюваність та потенційну клінічну користь модуля Юнга, його кореляції з якісною оцінкою АБ у В-режимі за шкалою Gray-Weale. Продемонстровано, що значно нижчий модуль Юнга спостерігався в АБ з крововиливами або тромбами всередині, крім того визначено асоціацію низьких значень модуля Юнга з ішемічними подіями [6], тобто характеристика жорсткості АБ за даними SWE може розглядатись як інструмент для оцінки її потенційної нестабільності.

Візуалізація новоутворених внутрібляшкових судин (неоваскуляризація) останнім часом розглядається як можливий фактор її нестабільності і як потенційне джерело внутрішньобляшкового крововиливу [7]. Звичайні доплерівські дослідження запобігають візуалізації дрібних судин, вважається, що оцінка мікроваскуляризації АБ можлива за допомогою контрастної УС [8]. Нова УС техніка «чудового мікроваскулярного зображення» (superb microvascular imaging – SMI) дозволяє ідентифікувати низькошвидкісні сигнали потоку без використання ультразвукового контрасту, результати SMI-візуалізації співвідносяться з оцінкою новоутворених судин при гістологічному дослідженні [9].

Зважаючи на технічну складність рутинного застосування МСКТА та МРТ для оцінки вразливості каротидної АБ, перспективним може бути використання нових УС технік SMI, SWE поряд із застосуванням традиційних УС критеріїв.

Мета роботи – визначити ультрасонографічні критерії вразливої каротидної бляшки на підставі оцінки характеристик бляшки з використанням сучасних ультразвукових технік.

of plaques, positive carotid remodeling, stenosis progression and calcification, which can be added to categories 3 and 4 [5].

On the basis of the presented approach, among the radiological methods of AP assessment, categories from 2 to 3a are subject to US diagnostics; others are determined with the help of MRI and MSCTA [5]. Thus, the following main criteria are available for US assessment: the maximum wall thickness (AP thickness), which is considered in categories up to 3 mm and ≥ 3 mm, where the latter is considered to be increasing the risk of complications; a thick fibrous cap, a low-density area that may be represented by a lipid-saturated necrotic nucleus or intraplaque hemorrhage. Of the auxiliary criteria, traditional US is able to evaluate calcification and positive remodeling.

However, modern US techniques deepen the diagnostic capabilities of the AP structural characteristics and are able to complement the traditional US assessment.

The identification of the vulnerable carotid plaque is a promising clinical application of shear wave elastography (Shear Wave Elastography – SWE). Studies show the potential clinical benefit of Young's modulus, its correlation with a qualitative B-mode AP score on the Gray-Weale scale. It has been demonstrated that a significantly lower Jung modulus was observed in AP with hemorrhages or blood clots inside. Besides, the association of low Young modulus values with ischemic events [6] was determined, that is, the characteristics of AP stiffness according to SWE data can be considered as a tool for assessing its potential instability.

Imaging of neoplastic vessels (neovascularization) has recently been considered as a potential source of intraplaque hemorrhage [7]. It is believed that the assessment of AP microvascularization is possible with the help of contrast US [8]. The new US technique of «superb microvascular imaging» (SMI) allows you to identify low-speed flow signals without the use ultrasonic contrast; the results of SMI imaging are correlated with the assessment of newly formed blood vessels in a histological study [9].

Due to the technical complexity of the routine use of MSCTA and MRI to assess the vulnerability of the carotid AP, the use of new US techniques of SMI and SWE along with the use of traditional US criteria can be promising.

Objective – define ultrasonographic criteria for vulnerable carotid plaque based on evaluation of plaque characteristics using current ultrasonic techniques.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

MATERIALS AND METHODS

Робота базується на аналізі даних 105 пацієнтів віком 41–84 роки, середній вік $67,1 \pm 10,1$ (Me = 69,0; IQR: 59,0–74,0), переважали чоловіки – 79 осіб (75,2%). Пацієнти обстежені на базі: Національного наукового центру Інституту кардіології імені М.Д. Стражеска, Медичного центру «Сонолайф» та Комунального некомерційного підприємства Київської обласної ради «Київська обласна клінічна лікарня» у 2020–2024 рр. Комплекс досліджень включав оцінку клініко-анамнестичних даних, ультразвукове дуплексне сканування (УЗДС) магістральних судин ший з використанням УЗ систем Toshiba Aplio 400 і Canon i800, МРТ головного мозку та/або МСКТ головного мозку з метою визначення симптомів та радіологічних ознак ішемічного інсульту. 24 пацієнтам у гострому періоді інсульту виконано за показаннями МСКТА судин ший та головного мозку (МСКТ GE Revolution EVO, DLP = 2430 mGy-cm). У дослідження включені пацієнти із встановленим стенозом внутрішньої сонної артерії (ВСА) за даними дуплексної УС, оцінка проводилась за стандартною методикою з визначенням ступеня стенозу за протоколом NASCET [4], включені пацієнти зі ступенем стенозу ВСА понад 20%. У дослідження не включали пацієнтів з порушеннями серцевого ритму з метою виключення кардіоемболічного підтипу ішемічного інсульту.

За допомогою дуплексної УС оцінювали планіметричну та гемодинамічну складову стенозів. Визначали максимальну товщину АБ, характеризували ехо-типи АБ відповідно класифікації Gray-Weale [10].

Впроваджені нові техніки оцінки АБ додатково до традиційних режимів УС. Техніка еластографії зсувної хвилі (SWE) застосована для визначення щільності бляшки, оцінювався показник модуль Юнга в кПа. Виконували запропоновані рекомендації для отримання оптимальної візуалізації в повздовжному скані [11]. Технічні можливості оцінки АБ за допомогою SWE були сприятливими для 84 пацієнтів, оцінювали АБ з якісною візуалізацією, без вираженої кальцифікації. Стандартизували налаштування сканера для SWE: кольорний діапазон (0–180 кПа), акустична потужність (0,0), посилення (70–90%). Обирали зону інтересу SWE (ROI) з покриттям всієї бляшки зі стінкою сонної артерії та м'якими тканинами поблизу в два-три рази більше розміру АБ. Колірну карту SWE оцінювали за такими параметрами: синій колір для відображення низького модуля Юнга (м'який), червоний колір – для високого модуля Юнга (жорсткий).

Техніка «чудової мікросудинної візуалізації» (SMI), наявна в програмному забезпеченні використаних нами УЗ систем, проводилась з метою пошуку новоутворених судин у структурі АБ. Застосування SMI було технічно можливим у 96 випадках. SMI застосовано у двох режимах: монохромному (відтінки сірого) і кольоровому. Для отримання високоякісних зображень проводили корекцію параметрів зображення: шкала швидкості менше ніж 2,5 см/с, підсилення чутливості кольору, збільшення часу згладжування для покращення тимчасової роздільної здатності [12].

МСКТА проведена 24 пацієнтам в гострому періоді ішемічного інсульту. Додатково до стандартного

The work is based on an analysis of data from 105 patients aged 41 to 84, average age 67.1 ± 10.1 (Me = 69.0, IQR: 59.0–74.0), males predominated – 79 (75.2%). The patients were examined at the bases of the National Scientific Center of M. D. Strazhesko Institute of Cardiology, «Sonolife» Medical Center and the Municipal Non-Profit Enterprise of the Kyiv Regional Council «Kyiv Regional Clinical Hospital» in 2020–2024. The set of studies included the evaluation of clinical and anamnestic data, ultrasound duplex scanning of the main vessels of the neck using Toshiba Aplio 400 and Canon i800 ultrasound systems, MRI of the brain and/or MSCT of the brain in order to determine symptoms and radiological signs of ischemic stroke. MSCTA of the neck and brain vessels (MSCT GE Revolution EVO, DLP = 2430 mGy-cm) was performed in 24 patients in the acute period of stroke according to indications. The study included patients with established internal carotid artery (ICA) stenosis according to duplex US data; the assessment was carried out according to the standard method, with determination of the degree of stenosis according to the NASCET protocol [4]; it included patients with the degree of ICA stenosis higher than 20%. The study did not include patients with heart rhythm disorders in order to exclude the cardioembolic subtype of ischemic stroke.

The planimetric and hemodynamic components of stenoses were evaluated using duplex US. The maximum thickness of AP was determined, the echo types of AP were characterized according to the Gray-Weale classification [10].

New AP assessment techniques have been introduced in addition to traditional US modes. The shear wave elastography (SWE) technique is used to determine the density of the plaque, the Jung modulus in kPa was estimated. Recommendations to obtain optimal visualization in a longitudinal scan were implemented [11]. The technical capabilities of evaluating AP with SWE were favourable for 84 patients; we evaluated clearly visible AP, without significant calcification. The scanner settings for SWE were standardized: colour range (0–180 kPa), acoustic power (0.0), gain (70–90%). The SWE region of interest (ROI) was adjusted to cover the entire plaque with carotid artery wall and nearby soft tissue about two to three times the size of the plaque. To evaluate the SWE color map, the following options were selected: the blue color on the elastogram showed a low Young modulus (soft), the red color indicated a high Young modulus (hard).

The technique of excellent microvascular imaging (SMI), available in the software of the systems we used, was carried out in order to search for newly formed vessels in the structure of AP. The use of SMI was technically possible in 96 cases. SMI was used in two modes: monochrome (shades of gray) and colour. To obtain high-quality images, the image parameters were corrected-adjusted: a speed scale of less than 2.5 cm/s, an increase in colour sensitivity, an increase in smoothing time to improve time resolution [12].

MSCTA was performed according to the indications in 24 patients the acute period of ischemic stroke. In addition to the standard examination, we introduced the determination of the plaque density with a view to

обстеження нами запроваджено визначення щільності бляшки з метою наступного порівняння з її УС-характеристиками. Щільність бляшок вимірювали за допомогою кількох накреслених вручну еліпсоїдних зон інтересу (ROI) на осьовий зріз, що охоплювали не менше ніж 70% площі бляшок. Залежно від розміру бляшки проводили від 5 до 10 вимірювань в ділянках площею до 2 мм². Під час вимірювання унікали ділянки кальцифікації та посиленого контрасту простоту судини. Була розрахована середня щільність в одиницях HU виміряних ROI на кожному аксіальному перерізі. З цього було розраховано середнє репрезентативне значення щільності в одиницях HU для всієї бляшки [13].

За даними клінічних та радіологічних досліджень пацієнти розподілені на дві групи. 55 пацієнтів сформували групу симптомного каротидного стенозу (СКС), в них встановлено ознаки порушення мозкового кровообігу в каротидному басейні протягом останніх 6 місяців: ішемічний інсульт – в 53 випадках, транзиторна ішемічна атака у двох спостереженнях. 50 пацієнтів із безсимптомним перебігом сформували групу асимптомного каротидного стенозу (АКС). Групи зіставлялися за віком ($U=1279,0$, $p=0,51$) і статтю ($\chi^2=1,41$ $p=0,24$).

Статистичний аналіз здійснювали за допомогою пакета програм MS Office та «Statistika 6». Оцінку статистичної значимості різниці між групами проводили з урахуванням невідповідності даних параметрам нормального розподілу, для порівняння кількісних показників – за критерієм Манна–Уїтні, для якісних показників – за критерієм χ^2 , визначали відносний ризик впливу чиннику на розвиток події. Оцінювався рівень значимості $p \leq 0,05$.

Дослідження виконані у відповідності до принципів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964–2000 рр.) та «Конвенції Ради Європи щодо прав людини та біомедицини» у рамках програми дисертаційного дослідження. Від усіх учасників отримано інформовану згоду на участь у дослідженні.

comparing it with its US characteristics subsequently. Plaque density was measured using several hand-drawn ellipsoid regions of interest (ROIs) per axial slice covering at least 70% of the plaque area. Depending on the size of the plaque, 5 to 10 measurements were made in areas of up to 2 mm². During the measurement, we avoided the calcification site and the contrast-enhanced lumen of the vessel. The average density in HU units of measured ROIs at each axial section was calculated. From this, the average representative density value in HU units for the entire plaque was calculated [13].

According to clinical and radiological data, patients were divided into 2 groups. 55 patients formed the symptomatic carotis stenosis (SCS) group, they showed signs of cerebral circulation disorder in the carotid basin during the last 6 months: ischemic stroke – in 53 cases, transient ischemic attack in 2 observations. 50 asymptomatic patients formed the asymptomatic carotis stenosis (ACS) group. The groups were age- and gender-matched ($U = 1279.0$, $p = 0.51$) and ($\chi^2 = 1.41$, $g = 0.24$) respectively.

The statistical analysis was carried out with the help of MS Office and Statistika 6 software packages. The statistical significance of the difference between the groups was assessed taking into account the discrepancy between the data with the parameters of the normal distribution; for comparison of quantitative indicators – according to the Mann–Whitney criterion, for qualitative indicators – according to the χ^2 criterion, the relative risk of the factor influence on the development of the event was determined. The assessed level of significance was $p \leq 0,05$.

The studies were carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (1964–2000) and the «Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine» within the framework of the dissertation research program. All the participants gave their informed consent to participate in the study.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

RESULTS AND DISCUSSION

За даними радіологічних досліджень у пацієнтів групи СКС вогнище ішемії в басейні кровопостачання правої ВСА мало місце в 24 випадках, лівої ВСА – в 22, в обох каротидних басейнах – в 7. Оцінювались вогнища ішемії коркової або підкоркової локалізації розмірами $\geq 1,5$ см у групі АКС за даними МРТ домінували ознаки дисциркуляторних змін головного мозку.

Каротидні стенози у пацієнтів переважно мали двобічну локалізацію, у групі СКС у 52 (94,5%), у групі АКС – в 49 (82,0%). Співставлення у групах проводились за такими УС характеристиками каротидного стенозу: ступенем стенозування ВСА за протоколом NASCET, максимальна товщина АБ, локальні зміни кровотоку в зоні стенозу ВСА, ехо-тип АБ за класифікацією Gray-Weale, наявність виразкувань, наявність мікроеваскуляризації за даними SMI, показники жорсткості за даними SWE. Додатково проведені співставлення характеристик жорсткості АБ, оцінених за даними МСКТА та даними УС у 24 пацієнтів.

According to radiological studies in patients of the SCS group, the focus of ischemia in the blood supply basin of the right ICA occurred in 24 cases, of the left ICA in 22, and in both carotid basins in 7 cases. Ischemia lesions of cortical or subcutaneous localization ≥ 1.5 cm in size were assessed. According to MRI data, signs of discirculatory brain changes were prevalent in ACS group»

Carotid stenoses in patients mainly had bilateral localization, 52 (94.5%) in the SCS group, 49 (82.0%) in the ACS group. Comparisons in the groups were carried out according to the following US characteristics of carotid stenosis: the degree of ICA stenosis according to the NASCET protocol, the maximum thickness of AP, local changes in blood flow in the zone of ICA stenosis, the echo type of AP according to the Gray-Weale classification, the presence of ulcers, the presence of microvascularization according to SMI data, stiffness indicators according to SWE data. In addition, comparisons of the stiffness characteristics of AP were carried out, assessed according to the MSCTA data and the US data in 24 patients.

Порівняння у групах свідчить про більш високий відсоток стенозування ВСА у групі СКС, відзначена достовірна різниця справа ($U = 601,5$; $p = 0,01$). Відповідно, порушення лінійної швидкості кровотоку в зоні стенозу також частіше зустрічались у групі СКС, продемонстрували значущі відмінності по правому каротидному басейну ($\chi^2 = 4,40$; $p = 0,04$; відносний ризик події збільшувався в 2,3 рази).

Максимальна товщина АБ виявилась статистично значуще більшою у групі СКС по правим ВСА, ($U=680,0$; $p=0,02$), по лівим ВСА різниця статистично не значима. Додатково проведено співставлення у групах показника максимальної товщини АБ у градаціях $\geq 2,5$ мм, АБ ≥ 3 мм, АБ $\geq 3,5$ мм. Встановлено статистично значущу відмінність у групах за показником АБ $\geq 3,5$ мм з обох боків (справа $\chi^2 = 5,04$; $p = 0,03$ та зліва $\chi^2 = 4,2$; $p = 0,04$), відносний ризик події (порушення мозкового кровообігу) збільшувався в 2,1–2,2 рази (табл. 1).

Comparison in groups indicates a higher percentage of ICA stenosis in SCS group, a significant difference on the right was noted ($U = 601,5$; $p=0,01$). Accordingly, blood flow velocity in the stenosis zone were also more common in the SCS group, significant differences were shown in the right carotid basin ($\chi^2 = 4.40$; $p=0,04$; the relative risk of the event increased 2.3-fold).

The maximum thickness of the AP was statistically significantly greater in the SCS group in the right ICA, ($U = 680.0$; $p = 0.02$), while in the left SCA, the difference is not statistically significant. In addition, a comparison of the indicator of maximum AP thickness in gradations of $\geq 2,5$ mm, AP ≥ 3 mm, AP $\geq 3,5$ mm was carried out. A statistically significant difference in groups was found/established in terms of AP $\geq 3,5$ mm on both sides (right $\chi^2 = 5.04$; $p = 0.03$ and left $\chi^2 = 4.2$; $p = 0.04$); the relative risk of the event (cerebral circulation disorder) increased by 2.1–2.2 times (Table 1).

Таблиця 1. Ультрасонографічна характеристика каротидних стенозів у групах
Table 1. Ultrasonography characterization of carotid stenoses in groups

Показник / Indicator	Групи / Groups				Порівняння у групах Comparison in groups
	СКС / SCS		АКС / ACS		
	справа on the right	зліва on the left	справа on the right	зліва on the left	U; p; χ^2 ;
Ступінь стенозу / Degree of stenosis, % Me (Q1–Q3)	45 (30–60)	36 (25–60)	30 (20–50)	35 (25–50)	Справа / on the right U = 601,5; p = 0,01; Зліва / on the left U = 940,0; p = 0,44
Товщина АБ, мм / AP thickness, mm Me (Q1–Q3)	3,3 (2,5–3,9)	3,1 (2,3–3,7)	2,7 (2,1–3,3)	3,0 (2,3–3,4)	Справа / on the right U = 680,0; p = 0,02; Зліва / on the left U = 959,5; p = 0,56
Товщина АБ більше 3,5 мм (кількість, (%)) AP thickness more than 3.5mm; quantity, (%)	20 (40)	17 (35,4)	7 (17,5)	7 (16,3)	Справа / on the right $\chi^2 = 5,04$; p = 0,03; RR=2,2; Зліва / on the left $\chi^2 = 4,2$; p = 0,04; RR = 2,1
Тип АСБ за Gray-Weale, кількість (%) Echo-type by Gray-Weale quantity, (%)					
1	4 (8,0)	5 (10,4)	1 (2,5)	–	Справа / on the right $\chi^2_4 = 19,4$; p = 0,001; Зліва / on the left $\chi^2_4 = 12,4$; p = 0,01
2	16 (32,0)	13 (27,1)	2 (5,0)	5 (11,6)	
3	18 (36,0)	13 (27,1)	14 (35,0)	14 (32,6)	
4	10 (20,0)	15 (31,3)	23 (57,5)	24(55,8)	
5	2 (4,0)	2 (4,2)	–	–	
Жорсткість АСБ, кПа / AP stiffness, kPa, Me (Q1–Q3)	70,0 (57,0–80,0)	72,0 (60,0–79,0)	82,0 (77,5–89,0)	85,0 (74,0–94,0)	Справа / on the right U = 390; p = 0,001; Зліва / on the left U = 380; p = 0,001
Наявність мікроваскуляризації Presence of microvascularization n/N, кількість / quantity, (%)	30/49 (61,2)	29/48 (60,4)	14/36 (38,8)	17/43 (39,5)	Справа / on the right $\chi^2 = 4,2$; p = 0,04; Зліва / on the left $\chi^2 = 4,0$; p = 0,05

Співставлення ехо-структури АБ у режимі сірої шкали відповідно ехо-типам за класифікацією Gray-Weale показали статистично значимі відмінності у групах: $\chi^2_4 = 19,4$; $p = 0,001$ по правим ВСА, та $\chi^2_4 = 12,4$; $p = 0,01$ по лівим ВСА. У групі СКС здебільше зустрічались неоднорідні АБ з переважанням гіпоехогенного (2-й тип) та гіперехогенного (3-й тип) компонентів, у групі АКС – частіше виявлені гіперехогенні АБ 3-го та 4-го типу. 5-й тип АБ

Comparison of the AP echo structure in gray scale mode according to the Gray-Weale classification of echo-types showed statistically significant differences in the groups: $\chi^2_4 = 19.4$; $p = 0.001$ in the right ICA and $\chi^2_4 = 12.4$; $p = 0.01$ in the left ICA. In the SCS group, heterogeneous APs with the prevalence of hypoechogenic (type 2) and hyperechogenic (type 3) components were more common, in the ACS group, hyperechogenic APs of type 3 and 4 were more often detected. Type 5 of

не визначеної ехогенності за рахунок ехо-тіні виключався з аналізу. Частота умовно нестабільних бляшок низької ехогенності (1-го типу) була малою та складала в 1-й групі 2 (4,0%) справа та 2 (4,2%) зліва.

Визначення жорсткості АБ за допомогою SWE дозволило виділити бляшки з модулем Юнга від 34 до 102 кПа. У групі СКС рівень жорсткості був достовірно нижчим (Me = 70,0 кПа – в правих ВСА, Me = 72,0 – в лівих ВСА) порівняно з групою АКС (Me = 82,0 кПа в правих ВСА, $p = 0,001$; Me = 85,0, в лівих ВСА, $p = 0,001$), (рис. 1). Ми не оцінювали за допомогою SWE бляшки з вираженою кальцифікацією (5-й тип за Gray-Weale) та товщиною менше 2 мм.

AP of undefined echogenicity due to echo-shadow was excluded from the analysis. The occurrence of conditionally unstable plaques of low echogenicity (1 type) was low: there were 2 in group 1 (4.0%) on the right and 2 (4.2%) on the left.

Determining the stiffness of AP using SWE made it possible to isolate plaques with a Young modulus from 34 to 102 kPa. In the SCS group, the stiffness level was significantly lower (Me = 70.0 kPa in the right ICA, Me = 72.0, in the left ICA) compared to the ACS group (Me = 82.0 kPa in the right ICA, $p = 0.001$; Me = 85.0, in left ICA, $p = 0.001$), (Fig. 1). We did not evaluate plaques with pronounced calcification (type 5 by Gray-Weale-Geroulakos) and thickness less than 2 mm with the help of SWE.

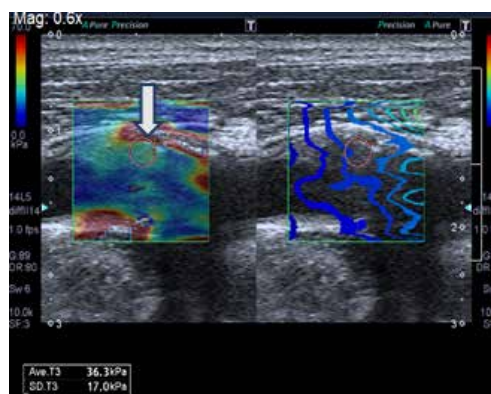


Рис. 1. Оцінка атеросклеротичної бляшки сонної артерії за допомогою SWE.

Забарвлення переважно в синій колір відповідає низькій жорсткості бляшки

Fig. 1. SWE assessment of the atherosclerotic carotid plaque. The blue staining corresponds to the low stiffness of the plaque

Результати даних застосування режиму SMI показали наявність мікровакуляризації переважно в бляшках 2-го та 3-го типу з переважанням знахідок у групі пацієнтів з СКС (рис. 2). Локуси мікросудин були відсутніми в АСБ 4-го типу. Частота реєстрації мікровакулярних локусів була більшою у групі пацієнтів із перенесеними інсультами, становила у правих ВСА 61,2% у групі СКС, та 38,8 – у групі АКС ($\chi^2 = 4,2$; $p = 0,04$), по лівих ВСА 60,4 та 39,5% у групах СКС та АКС відповідно ($\chi^2 = 4,0$; $p = 0,05$).

The results of the SMI regimen showed the presence of microvascularization mainly in type 2 and 3 plaques with a predominance of finds in the group of patients with SCS (Fig. 2). Microvascular loci were absent in type 4 ASP. The incidence of microvascular loci was higher in the group of patients with stroke. It was 61.2% in the right ICA and 38.8% in the ACS group ($\chi^2 = 4.2$; $p = 0.04$), on the left ICA 60.4% and 39.5% in the SCS and ACS groups, respectively ($\chi^2 = 4.0$; $p = 0.05$).

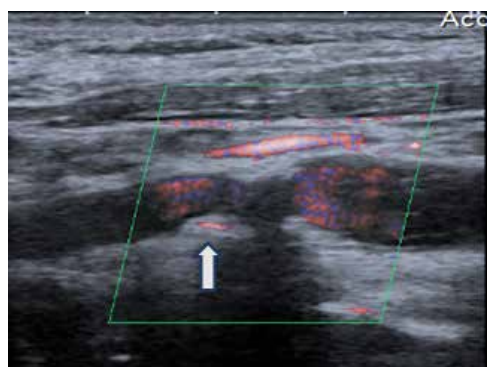


Рис. 2. Мікровакуляризація атеросклеротичної бляшки сонної артерії в режимі кольорового SMI

Fig. 2. Microvascularization of the atherosclerotic carotid plaque in the mode of colored SMI

За критерієм ускладнення АБ з виразкуванням поверхні в наших спостереженнях не виявило достовірних відмінностей у групах ($\chi^2 = 1,1$; $p = 0,30$ по правій ВСА, та $\chi^2 = 2,5$; $p = 0,11$ по лівій ВСА).

According to the criterion of AP complication with surface ulceration, in our observations there were no significant differences in the groups ($\chi^2 = 1.1$; $p = 0.30$ on the right SCA and $\chi^2 = 2.5$; $p = 0.11$ on the left ICA).

Таким чином, достовірні відмінності у групах спостережень встановлено за такими показниками: максимальна товщина бляшки (по правих ВСА), значущою величиною виявилась товщина бляшки $\geq 3,5$ мм, ступінь стенозування (справа), типи бляшок за класифікацією Gray-Weale, жорсткість бляшки за даними SWE, наявність мікрovasкуляризації за даними SMI. Отримані результати можуть бути враховані у прогнозуванні ризику розвитку ішемічних подій на боці каротидного стенозу в комплексі інших клінічних показників, а також можуть бути застосовані для персоналізованого підходу при плануванні подальшого лікування пацієнта.

З метою порівняння даних досліджень жорсткості АБ, визначених різними радіологічними методами (УС у режимі сірої шкали, УС у режимі SWE та МСКТА) у 24 пацієнтів проведені співставлення кількісних показників жорсткості між собою та з ехо-типами бляшки за допомогою рангової кореляції Спірмена.

Вивчені кореляційні зв'язки між середнім показником жорсткості за даними SWE (кПа) та показниками щільності (середній, мінімальний та максимальний) за даними МСКТА (в одиницях HU). Встановлено кореляційні зв'язки середньої сили: між середнім показником жорсткості АБ за даними SWE та рівнем щільності за даними МСКТА – середнім ($\rho = 0,60$; $p = 0,004$, двобічний зв'язок) та мінімальним ($\rho = 0,54$; $p = 0,012$, двобічний зв'язок).

Досліджені співвідношення ехо-типів АБ за класифікацією Gray-Weale та рівнів жорсткості за даними SWE. Визначено, що I-II ехо-типам АБ відповідає діапазон показників середньої жорсткості за SWE 40–55 кПа (Me = 51,5, (Q1–Q3): 41,5–61,7); III типу – показники середньої жорсткості за SWE 56–69 кПа (Me = 62,0, (Q1–Q3): 54,0–66,0); IV типу АБ – 70 і більше кПа (Me = 74,0, (Q1–Q3): 70,0–74,0) кПа, коефіцієнт кореляції Кендала ($\tau = 0,56$; $p = 0,006$, двобічний зв'язок). Встановлені двобічні кореляційні зв'язки середньої сили між ехо-типом АБ за Gray-Weale та показником жорсткості за даними SWE (кПа): $\rho = 0,57$; $p = 0,007$, що свідчить про певну відповідність характеристик ехо-типів бляшки за даними сірої шкали та жорсткості за SWE.

Нами вивчені співвідношення ехо-типів АБ за класифікацією Gray-Weale та рівнів щільності АБ за даними МСКТА. Встановлено, що I-II типам АБ відповідають середній показник щільності за МСКТА $38,7 \pm 2,9$ (Me = 38,5, (Q1–Q3): 36,0–41,2) HU; III типу – середня щільність за МСКТА $43,7 \pm 8,9$ (Me = 41,5, (Q1–Q3): 37,2–54,0) HU; IV типу АБ – середня щільність за МСКТА $46,3 \pm 2,3$ (Me = 45,0, (Q1–Q3): 45,0–46,0) HU. Встановлені кореляційні зв'язки середньої сили між ехо-типом АБ за Gray-Weale та щільністю АБ за МСКТА: $\rho = 0,53$; $p = 0,014$ для показника середньої щільності; $\rho = 0,49$; $p = 0,021$ для показника мінімальної щільності. Отримані дані підтверджують відповідність оцінки характеристики бляшки за даними сірої шкали та щільності за МСКТА, більш статистично значимим виявився показник середньої щільності за МСКТА порівняно з оцінкою мінімальної щільності. Аналіз показника максимальної щільності за МСКТА не визначив кореляційних зв'язків з УС критеріями (табл. 2).

Thus, reliable significant differences in the observation groups were established according to the following indicators: the maximum thickness of the plaque (on the right ICA), the thickness of the plaque was ≥ 3.5 mm, the degree of stenosis (on the right), the types of plaques according to the Gray-Weale classification, the stiffness of the plaque according to SWE data, the presence of microvascularization according to SMI data. The results can be taken into account in predicting the risk of ischemic events on the side of carotid stenosis in combination with other clinical indicators, and can also be applied for a personalized approach in the planning of further treatment of the patient.

In order to compare data from AP stiffness studies obtained by different radiological methods (gray-scale US, SWE-mode US and MSCTA), quantitative stiffness indicators of 24 patients were compared with each other and with echo-types of plaque using the Spearman rank correlation.

The correlation relationships between the mean stiffness score from the SWE data (kPa) and the density scores (mean, minimum and maximum) from the MSCTA data (in HU units) were studied. Medium strength correlations were established: between the average AP stiffness indicator according to SWE data and the density level according to the MSCTA data – average ($\rho = 0.60$; $p = 0.004$, two-way bond) and minimum ($\rho = 0.54$; $p = 0.012$, two-way bond).

The ratios of AP echo types according to Gray-Weale classification and stiffness levels according to SWE data were investigated. It was determined that the I-II echo types of AP correspond to the range of average stiffness indicators according to SWE 40-55 kPa (Me = 51.5, (Q1–Q3): 41.5–61.7); Type III – indicators of average stiffness according to SWE 56–69 kPa (Me = 62.0, (Q1–Q3): 54.0–66.0); type IV AP – 70 or more kPa (Me = 74.0, (Q1–Q3): 70.0–74.0) kPa, Kendall correlation coefficient ($\tau = 0.56$; $p = 0.006$, two-way bond). Two-way correlations of medium strength between the AP echo type according to Gray-Weale and the stiffness indicator according to SWE (kPa) were established: $\rho = 0.57$; $p = 0.007$, which indicates a certain compliance of the characteristics of the echo types of the plaque according to the gray scale and the stiffness according to SWE.

We studied the ratio of AP echo types according to the Gray-Weale classification and AP density levels according to the MSCTA. It was found that the I-II types of AP correspond to the average density indicator according to MSCTA 38.7 ± 2.9 (Me = 38.5, (Q1–Q3): 36.0–41.2) HU; Type III – average density according to MSCTA 43.7 ± 8.9 (Me = 41.5, (Q1–Q3): 37.2–54.0) HU; type IV AP – average density as per MSCTA 46.3 ± 2.3 (Me = 45.0, (Q1–Q3): 45.0–46.0) HU. Average strength correlation between the AP echo type by Gray-Weale and the AP density by MSCTA: $\rho = 0.53$; $p = 0.014$ for average density; $\rho = 0.49$; $p = 0.021$ for minimum density. The obtained data confirm the conformity of the estimate of the plaque characteristics according to the gray scale and density according to the MSCT, the average density indicator according to the MSCT compared to the estimate of the minimum density was more statistically significant. The analysis of the maximum density indicator according to the MSCTA did not determine correlation relations with the US criteria (Table 2).

Таблиця 2. Кореляційна матриця показників щільності та ехо-типів каротидних бляшок
 (коефіцієнт кореляції Спірмена (ρ) та рівень значимості (p))
Table 2. The correlation matrix of density and echo types of carotid plaques
 (Spearman correlation coefficient (ρ) and significance level (p))

Показник / Indicator	Щільність за МСКТА Density according to MSCTA			Ехо-тип за Gray-Weale Echo type by Gray-Weale	Жорсткість SWE Stiffness by SWE
	minimal	maximal	mean		
Щільність за МСКТА Density according to MSCTA	1,000	–0,183 0,427	0,651 0,001	0,499 0,021	0,539 0,012
Щільність за МСКТА Density according to MSCTA	–0,183 0,427	1,000	0,509 0,018	0,183 0,427	0,223 0,331
Щільність за МСКТА Density according to MSCTA	0,651 0,001	0,509 0,018	1,000	0,529 0,014	0,601 0,004
Ехо-тип за Gray-Weale Echo-type by Gray-Weale	0,499 0,021	0,183 0,427	0,529 0,014	1,000	0,572 0,007
Жорсткість за SWE Stiffness by SWE	0,539 0,012	0,223 0,331	0,601 0,004	0,572 0,007	1,000

Результати співставлень ехо-характеристик та жорсткості АБ, отриманої за допомогою МСКТА та УС в наших спостереженнях, свідчать про ефективність УС методів оцінки структури бляшки. З одного боку, це підкреслює самостійне значення та перспективу використання ультразвукових технологій в оцінці каротидних стенозів. З іншого боку, це наголошує на доцільності подальших досліджень у напрямку комбінації методів УС та МСКТА в алгоритмі оцінки вразливих бляшок [14].

Результати співставлень ехо-характеристик та жорсткості АБ, отриманої за допомогою МСКТА та УС в наших спостереженнях, свідчать про ефективність УС-методів оцінки структури бляшки. З одного боку, це підкреслює самостійне значення та перспективу використання ультразвукових технологій в оцінці каротидних стенозів. З іншого – це наголошує на доцільності подальших досліджень у напрямку комбінації методів УС та МСКТА в алгоритмі оцінки вразливих бляшок [14].

Незважаючи на численні дослідження останніх десятиліть, не вдалось визначити окрему ознаку, що достовірно передбачала потенційний ризик іпсилатерального інсульту при каротидному стенозі. Результати нашого аналізу УС критеріїв нестабільної АБ підтверджують багатофакторність процесів формування стенозів «високого ризику». Стосовно традиційної УС оцінки вразливих каротидних бляшок нами отримані результати, що співпадають з багатьма дослідженнями (ступінь стенозу ВСА, товщина бляшки, гемодинамічні порушення в зоні стенозу, структура бляшки за класифікацією Gray-Weale).

За сучасними уявленнями, одним з потенційних маркерів нестабільності АБ є розподіл напруги в середині бляшки. Оцінка жорсткості за SWE шляхом кількісного визначення модуля Юнга є перспективною для отримання інформації про склад АБ [15]. Крім того, попередні дослідження визначили зв'язок нижчих модулів Юнга з неврологічними симптомами [6]. В результаті аналізу наших даних також отримано статистично значимі відмінності показників модуля Юнга в групах симптомних та асимптомних пацієнтів.

У центрі уваги останніх досліджень є патологічний ангиогенез АБ, проліферація незрілих капілярів, що походять з адвентиціальних vasa vasorum, тобто

The results of the comparison of the echo-characteristics and stiffness of AP obtained with the help of MSCTA and US indicate the effectiveness of US methods for assessing the structure of the plaque.

On the one hand, it emphasizes the independent significance and prospects of using ultrasonic technologies in the assessment of carotid stenoses. On the other hands, it indicates the expediency of further research in the direction of the combination of the US and MACTA methods in the algorithm for the evaluating vulnerable plaques [14].

Despite numerous studies in recent decades, it was not possible to determine a separate sign that reliably predicted the potential risk of ipsilateral stroke in carotid stenosis. The results of our analysis of the US criteria of unstable AP confirm the multifactorial nature of the processes of «high-risk» stenoses formation. As regards the traditional US assessment of vulnerable carotid plaques, we have obtained results that coincide with many studies (the degree of ICA stenosis, the thickness of the plaque, hemodynamic disorders in the stenosis zone, the structure of the plaque according to the Gray-Weale classification).

According to modern concepts, one of the potential markers of AP instability is the distribution of voltage in the middle of the plaque. Evaluation of the SWE stiffness by quantification of the Young moduli is promising for obtaining information on the composition of the AP [15]. In addition, previous studies have identified the association of lower Jung modulus with neurological symptoms [6]. The analysis of our data also yielded statistically significant differences in Jung modulus scores in groups of symptomatic and asymptomatic patients.

The focus of recent studies is the pathological angiogenesis of AP, proliferation of immature capillaries originating from adventitial vasa vasorum, that is, intra-peritoneal vascularization. These vessels are responsible for the processes of inflammation, and are also immature and prone to ruptures and hemorrhages. Methods of contrast ultrasound and SMI have great prospects in the diagnosis of newly formed vessels [8, 16]. In our study, the findings suggested the likely effect of signs of microvascularization on the risk of ischemic events. The literature also reflects the association of the presence of newly formed vessels with potential plaque instability and risk of cerebral ische-

внутрішньобляшкова васкуляризація. Ці судини є відповідальними за процеси запалення, до того ж є незрілими та схильними до розривів і крововиливів. Методики контрастного ультразвуку і SMI мають великі перспективи в діагностиці новоутворених судин [8, 16]. У нашому дослідженні отримані результати свідчили про ймовірний вплив ознак мікроваскуляризації на ризик ішемічних подій. Літературні дані також відображають зв'язок наявності новоутворених судин з потенційною нестабільністю бляшки та ризиком церебральних ішемічних подій [9]. Таким чином, мультипараметричне УС дослідження в комбінації традиційних та передових ультразвукових методик представляють гарну перспективу для неінвазивного дослідження каротидних стенозів «високого ризику».

ВИСНОВКИ

Встановлено статистично значимі відмінності характеристик АБ у групах пацієнтів з симптомним і асимптомним каротидним стенозом: максимальна товщина бляшки зі збільшенням ступеня ризику при товщині більше 3,5 мм, ступінь стенозування ВСА, типи бляшок за класифікацією Gray-Weale, а також жорсткість бляшки за даними SWE, наявність мікроваскуляризації за даними SMI.

Встановлені двобічні кореляційні зв'язки між показниками жорсткості АБ, отриманими за даними SWE та МСКТА, між характеристикою ехо-типів АБ за класифікацією Gray-Weale та показниками жорсткості за даними SWE та за даними МСКТА.

Наявність мікроваскуляризації за даними SMI та низька жорсткість бляшки за даними SWE можуть характеризувати потенційну нестабільність АБ, ці УС критерії доцільно додати в комплексну радіологічну оцінку каротидних стенозів.

CONCLUSIONS

Statistically significant differences in the characteristics of AP in groups of patients with symptomatic and asymptomatic carotid stenosis were found: the maximum thickness of the plaque with an increase in the degree of risk at a thickness of more than 3.5 mm, the degree of stenosis of the ICA, the types of plaques according to the Gray-Weale classification, as well as the stiffness of the plaque according to SWE data, the presence of microvascularization according to the SMI data.

Two-way correlation between the AP stiffness indicators obtained from the SWE and MSCT data, between the characteristics of the AP echo-types according to the Gray-Weale classification and the stiffness indicators according to the SWE data and according to the MSCT data have been established.

The presence of microvascularization according to SMI data and the low stiffness of the plaque according to SWE data can characterize the potential instability of the ASP; these US criteria should be added to the comprehensive radiological assessment of carotid stenoses.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Song P., Fang Z., Wang H. et al. Global and regional prevalence, burden, and risk factors for carotid atherosclerosis: a systematic review, meta-analysis, and modelling study. *The Lancet Global Health*. 2020; Vol. 8. P. 721–729. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30117-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30117-0)
2. Aboyans V., Ricco J-B., Bartelink M-L.E.L. et al. 2017 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal. *European heart journal*. 2018; Vol. 39(9). P. 763–816. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx095>
3. Kamtchum-Tatuene J., Noubiap J.J., Wilman A.H., Saqqur M., Shuaib A., Jickling G.C. Prevalence of High-risk Plaques and Risk of Stroke in Patients With Asymptomatic Carotid Stenosis: A Meta-analysis. *JAMA neurology*. 2020; Vol. 77(12). P. 1524–1535. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.2658>
4. Naylor A.R., Ricco J.B., de Borst G.J. et al. Editor's Choice – Management of Atherosclerotic Carotid and Vertebral Artery Disease: 2017 Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *European journal of vascular and endovascular surgery*. 2018; Vol. 55(1). P. 3–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.06.021>
5. Saba L., Cau R., Murgia A. et al. Carotid Plaque-RADS: A Novel Stroke Risk Classification System. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2024; Vol. 17(1). P. 62–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.09.005>
6. Garrard J.W., Ummur P., Nduwayo S. et al. Shear Wave Elastography May Be Superior to Greyscale Median for the Identification of Carotid Plaque Vulnerability: A Comparison with Histology. *Ultraschall in der Medizin*. 2015; Vol. 36(4). P. 386–390. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1399676>

REFERENCES

1. Song P, Fang Z, Wang H et al. Global and regional prevalence, burden, and risk factors for carotid atherosclerosis: a systematic review, meta-analysis, and modelling study. *The Lancet Global Health*. 2020;8:721–9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30117-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30117-0)
2. Aboyans V, Ricco J-B, Bartelink M-LEL et al. 2017 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal. *European heart journal*. 2018;39(9):763–816. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx095>
3. Kamtchum-Tatuene J, Noubiap JJ, Wilman AH, Saqqur M, Shuaib A, Jickling GC. Prevalence of High-risk Plaques and Risk of Stroke in Patients With Asymptomatic Carotid Stenosis: A Meta-analysis. *JAMA neurology*. 2020;77(12):1524–35. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.2658>
4. Naylor AR, Ricco JB, de Borst GJ et al. Editor's Choice – Management of Atherosclerotic Carotid and Vertebral Artery Disease: 2017 Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *European journal of vascular and endovascular surgery*. 2018;55(1):3–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.06.021>
5. Saba L, Cau R, Murgia A et al. Carotid Plaque-RADS: A Novel Stroke Risk Classification System. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2024;17(1):62–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.09.005>
6. Garrard JW, Ummur P, Nduwayo S et al. Shear Wave Elastography May Be Superior to Greyscale Median for the Identification of Carotid Plaque Vulnerability: A Comparison with Histology. *Ultraschall in der Medizin*. 2015;36(4):386–90. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1399676>

7. Meng Q, Xie X, Li L, Jiang C, Zhao K, Bai Z. Assessment of neovascularization of carotid artery atherosclerotic plaques using superb microvascular imaging: a comparison with contrast-enhanced ultrasound imaging and histology. *Quantitative imaging in medicine and surgery*. 2021. Vol. 11(5). P. 1958–1969. DOI: <https://doi.org/10.21037/qims-20-933>
8. Uchihara Y, Saito K, Motoyama R, Ishibashi-Ueda H, Yamaguchi E, Hatakeyama K. Neovascularization From the Carotid Artery Lumen Into the Carotid Plaque Confirmed by Contrast-Enhanced Ultrasound and Histology. *Ultrasound in medicine & biology*. 2023. Vol. 49(8). P. 1798–1803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.04.002>
9. Zamani M, Skagen K, Scott H, Russell D, Skjelland M. Advanced ultrasound methods in assessment of carotid plaque instability: a prospective multimodal study. *BMC neurology*. 2020. Vol. 20(1). 39 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12883-020-1620-z>
10. Fedak A, Ciuk K, Urbanik A. Ultrasonography of vulnerable atherosclerotic plaque in the carotid arteries: B-mode imaging. *Journal of ultrasonography*. 2020. Vol. 20(81). P. e135-e145. DOI: <https://doi.org/10.15557/JoU.2020.0022>
11. Săftoiu A, Gilja O, Sidhu P.S. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Elastography in Non-Hepatic Applications: Update 2018. *Ultraschall in der Medizin*. 2019. Vol. 40(4). P. 425–453. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-0838-9937>
12. Hata J. Seeing the unseen: New techniques in vascular imaging Superb Micro-vascular Imaging. *Medical Reviv*. URL: <https://at.medical.canon/wp-content/uploads/sites/2/2015/01/Seeing-the-unseen-2014-SMI-on-Aplio-500.pdf>
13. Saba L, Loewe C, Weikert T et al. State-of-the-art CT and MR imaging and assessment of atherosclerotic carotid artery disease: the reporting – a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *European Radiology*. 2023. Vol. 33. P. 1088–1101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09025-6>
14. Singh A, Nasir U, Segal J, Waheed T.A., Ameen M., Hafeez H. The utility of ultrasound and computed tomography in the assessment of carotid artery plaque vulnerability-A mini review. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2022. Vol. 9. 1023562 p. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1023562>
15. Guo Y, Wang X, Wang L, Wei X, Duan Y, Yang X, Zhang M, Zhao B. The Value of Superb Microvascular Imaging and Contrast-enhanced Ultrasound for the Evaluation of Neovascularization in Carotid Artery Plaques. *Academic radiology*. 2023. Vol. 30(3). P. 403–411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.08.001>
16. Davidhi A, Rafailidis V, Destanis E, Prassopoulos P, Foinitsis S. Ultrasound Elastography: another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? *Medical ultrasonography*. 2022. Vol. 24(3). P. 356–363. DOI: <https://doi.org/10.11152/mu-3190>
7. Meng Q, Xie X, Li L, Jiang C, Zhao K, Bai Z. Assessment of neovascularization of carotid artery atherosclerotic plaques using superb microvascular imaging: a comparison with contrast-enhanced ultrasound imaging and histology. *Quantitative imaging in medicine and surgery*. 2021;11(5):1958–69. DOI: <https://doi.org/10.21037/qims-20-933>
8. Uchihara Y, Saito K, Motoyama R, Ishibashi-Ueda H, Yamaguchi E, Hatakeyama K. Neovascularization From the Carotid Artery Lumen Into the Carotid Plaque Confirmed by Contrast-Enhanced Ultrasound and Histology. *Ultrasound in medicine & biology*. 2023;49(8):1798–803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.04.002>
9. Zamani M, Skagen K, Scott H, Russell D, Skjelland M. Advanced ultrasound methods in assessment of carotid plaque instability: a prospective multimodal study. *BMC neurology*. 2020;20(1):39. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12883-020-1620-z>
10. Fedak A, Ciuk K, Urbanik A. Ultrasonography of vulnerable atherosclerotic plaque in the carotid arteries: B-mode imaging. *Journal of ultrasonography*. 2020;20(81):e135–45. DOI: <https://doi.org/10.15557/JoU.2020.0022>
11. Săftoiu A, Gilja OH, Sidhu PS et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Elastography in Non-Hepatic Applications: Update 2018. *Ultraschall in der Medizin*. 2019. Vol;40(4):425–53. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-0838-9937>
12. Hata J. Seeing the unseen: New techniques in vascular imaging Superb Micro-vascular Imaging. *Medical Reviv*. URL: <https://at.medical.canon/wp-content/uploads/sites/2/2015/01/Seeing-the-unseen-2014-SMI-on-Aplio-500.pdf>
13. Saba L, Loewe C, Weikert T et al. State-of-the-art CT and MR imaging and assessment of atherosclerotic carotid artery disease: the reporting – a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *European Radiology*. 2023;33:1088–101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09025-6>
14. Singh A, Nasir U, Segal J, Waheed TA, Ameen M, Hafeez H. The utility of ultrasound and computed tomography in the assessment of carotid artery plaque vulnerability-A mini review. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2022;9:1023562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1023562>
15. Guo Y, Wang X, Wang L, Wei X, Duan Y, Yang X, Zhang M, Zhao B. The Value of Superb Microvascular Imaging and Contrast-enhanced Ultrasound for the Evaluation of Neovascularization in Carotid Artery Plaques. *Academic radiology*. 2023;30(3):403–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.08.001>
16. Davidhi A, Rafailidis V, Destanis E, Prassopoulos P, Foinitsis S. Ultrasound Elastography: another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? *Medical ultrasonography*. 2022;24(3):356–63. DOI: <https://doi.org/10.11152/mu-3190>

Перспективи подальших досліджень

Удосконалення діагностичного алгоритму неінвазивної оцінки тяжкості каротидних стенозів за допомогою комплексу радіологічних досліджень, з визначенням окремої ролі та обсягу ультрасонографічної діагностики як найбільш доступного методу. Важливим напрямком є розробка прогностичної моделі ризику ішемічних подій у пацієнтів із безсимптомним перебігом атеросклеротичного ураження сонних артерій.

Prospects for further research

The improvement of the diagnostic algorithm for the non-invasive assessment of the severity of carotid stenoses using a complex of radiological studies, with the definition of the separate role and scope of US diagnostics as the most accessible method. An important focus is the development of a prognostic model for the risk of ischemic events in patients with asymptomatic atherosclerotic carotid involvement.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Інформація про фінансування

Фінансування видатками Державного бюджету України.

Funding information

Financed by the state budget of Ukraine

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Глоба Марина Василівна – доктор медичних наук, старший дослідник, доцент кафедри радіології Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України; вул. Дорогожицька, буд. 9, м. Київ, Україна, 04112;

е-mail: dr.mglobo@gmail.com
моб.: +38 (066) 724-98-89

Внесок автора: концепція і дизайн дослідження, аналіз даних, написання вступу та обговорення.

Деркач Борис Вадимович – аспірант кафедри радіології Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України; вул. Дорогожицька, буд. 9, м. Київ, Україна, 04112;

е-mail: docyzd@gmail.com
моб.: +38 (050) 935-57-99

Внесок автора: збір та обробка матеріалу, аналіз даних, написання основних розділів.

Globa Maryna Vasilievna – Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Radiology Shupyk National University of Healthcare of Ukraine of the Ministry of Health of Ukraine; 9 Dorogozhitskaya Str., Kyiv, Ukraine, 04112;

е-mail: dr.mglobo@gmail.com
tel.: +38 (066) 724-98-89

Author's contribution: conception and design of the study, data analysis, writing of the introduction and discussion.

Derkach Borys Vadymovych – graduate student of the Department of Radiology Shupyk National University of Healthcare of Ukraine of the Ministry of Health of Ukraine; 9 Dorogozhitskaya Str., Kyiv, Ukraine, 04112;

е-mail: docyzd@gmail.com
tel. +38 (050) 935-57-99

Author's contribution: collection and processing of material, data analysis, writing of main chapters.

Рукопис надійшов
Manuscript was received
08.05.2024

Отримано після рецензування
Received after review
17.05.2024

Прийнято до друку
Accepted for printing
11.06.2024

Опубліковано
Published
18.06.2024