

Evaluation and Assessment of Doppler Ultrasonography Results in Comparison with Digital Subtraction Angiography in Diagnosis of Internal Carotid Artery Stenosis

Amin Banaei^{1,2*}, Rezvaneh Norouzi³, Razzagh Abedi Firouzjah⁴, Mahdi Elahi¹

¹ Department of Medical Physics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

² Department of Radiology, Faculty of Paramedical Sciences, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³ Al-e-Taha Higher Educational Institute, Tehran, Iran.

⁴ Department of Medical physics, Faculty of Medical Sciences, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran.

Abstract

Introduction: Digital Subtraction Angiography (DSA) is the standard method for detection of carotid artery stenosis. This technique has high radiation dose. With the progress of imaging techniques, noninvasive or minimally invasive methods like the CT angiography, MR angiography and ultrasonography with Doppler or Duplex mode were applicable. This study aimed to evaluate and assess the results of Doppler ultrasonography in comparison with the DSA in diagnosis of internal carotid artery.

Methods and Materials: 20 male patients with internal carotid stenosis > 50% who previously underwent the DSA examination, were examined with the Doppler ultrasonography. Obtained Structural and hemodynamic parameters from Doppler ultrasonography were analyzed regarding to German Society of Ultrasound in medicine and NASCET recommendations. The degrees of carotid stenosis resulted from the Doppler ultrasonography were evaluated and compared with the DSA results.

Results: Doppler and DSA findings did not show significant differences ($P < 0.05$). The mean values of internal carotid artery stenosis were 69.8%, 67.9% and 71.3% for Doppler ultrasonography using German society of US in medicine recommendations, Doppler ultrasonography using NASCET recommendations and DSA results respectively. Sensitivity values of Doppler ultrasonography in comparison with DSA results were 94.5% and 95.2%, and specificity values were 96.7% and 97.1% for German society of US in medicine and NASCET, respectively.

Discussion and Conclusion: The Doppler ultrasonography had high precision, sensitivity and specificity in our study. This method can be used as a noninvasive and easy to use technique in detection and determination of this disease especially in patients who don't need angioplasty procedures.

Keywords: Doppler Ultrasonography, Carotid Artery Stenosis, Digital Subtraction Angiography

*(Corresponding author) Amin Banaei, Department of Radiology, Faculty of Paramedical Sciences, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email:aminabsp@gmail.com

ارزیابی و بررسی نتایج حاصل از داپلر فراصوتی در مقایسه با آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال در تشخیص تنگ شدگی‌های شریان کاروتید داخلی

امین بنایی^{۱*}، رضوانه نوروزی^۳، رزاق عابدی فیروزجاه^۴، مهدی الهی^۱

^۱ گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه پرتوشناسی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران

^۳ موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران

^۴ گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران

چکیده

مقدمه: روش استاندارد ارزیابی تنگی شریان کاروتید، آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال (DSA) می‌باشد. این روش دارای دوز تابشی بالایی بوده و روشی تهاجمی بشمار می‌رود. با پیشرفت روش‌های تصویربرداری، روش‌های کمتر تهاجمی مانند سی تی آنژیوگرافی، ام آر آنژیوگرافی و فراصوت به همراه داپلر یا داپلکس، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف این تحقیق بررسی و ارزیابی نتایج روش سونوگرافی داپلر در تشخیص و تعیین میزان تنگی شریان کاروتید داخلی در مقایسه با نتایج DSA می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ۲۰ بیمار مرد با تنگی شریان کاروتید بیش از ۵۰٪ که قبلاً تحت آزمون DSA قرار گرفته‌اند، تحت آزمون سونوگرافی داپلر قرار گرفتند. پارامترهای ساختاری و همودینامیکی به دست آمده از آن‌ها با توجه به توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET تحلیل شده و میزان تنگی این شریان با نتایج DSA مقایسه و ارزیابی شد.

نتایج: تفاوت معناداری میان یافته‌های سونوگرافی داپلر و DSA مشاهده نشد ($P < 0/05$). میانگین میزان گرفتگی شریان کاروتید داخلی ۶۹/۸٪، ۶۷/۹٪ و ۷۱/۳٪ به ترتیب برای داپلر سونوگرافی بر اساس توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان، NASCET و DSA به دست آمد. حساسیت روش داپلر فراصوتی در مقایسه با DSA، ۹۴/۵٪ و ۹۵/۲٪ و مقادیر ویژگی ۹۶/۷٪ و ۹۷/۱٪ به ترتیب برای توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET محاسبه شد.

بحث و نتیجه گیری: روش داپلر فراصوتی با داشتن حساسیت، ویژگی و دقت اندازه‌گیری بالا در تشخیص تنگ شدگی‌های شریان کاروتید، می‌تواند به عنوان روشی غیر تهاجمی و با کاربری آسان در تشخیص و تعیین این بیماری، به ویژه در کسانی که نیاز به آنژیوپلاستی ندارند، استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: سونوگرافی داپلر، داپلر فراصوتی، تنگی شریان کاروتید، آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال

مقدمه

تفریقی دیجیتال (Digital Subtraction Angiography یا DSA)

می‌باشد. این روش دوز تابشی بالایی به بیمار، پزشک و پرسنل درمانی می‌رساند و یکی از روش‌های تهاجمی تشخیصی نسبت به سایر روش‌های تصویربرداری است (۳). با پیشرفت تکنولوژی

بیماری گرفتگی (تنگی) شریان کاروتید (Carotid Artery Stenosis)، یکی از عوامل مهم بروز سکته‌های مغزی و سیستم عصبی است (۱، ۲). روش معمول و استاندارد ارزیابی این بیماری، آنژیوگرافی

گرفته‌اند و تنگی شریان کاروتید بیش از ۵۰٪ در آن‌ها گزارش شده بود، به عنوان جامعه آماری در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند. بیماران از کل فرآیندهای آزمایش و هدف تحقیق مطلع شده و فرم رضایت آگاهانه شرکت در تحقیق را مطالعه و امضا نمودند.

بیماران با تنگی شریان کاروتید بیش از ۵۰٪، توسط دستگاه Toshiba Core-Vision pro مورد آزمون سونوگرافی داپلر قرار گرفتند. ابتدا با استفاده از پروب مولتی فرکانسی ۳-۶ مگاهرتزی در حالت B-mode از شریان کاروتید تصویربرداری شده و از روی تصاویر به دست آمده، ضخامت و سطح مقطع شریان کاروتید در محل گرفتگی محاسبه گردید. سپس با استفاده از مد داپلر با پروب ۳ مگاهرتز، سرعت‌های جریان خون شامل سرعت ماکزیمم سیستولیک (Peak Systolic Velocity یا PSV)، سرعت در انتهای فاز دیاستول (End Diastolic Velocity یا EDV)، در محل گرفتگی، نسبت سرعت خون کاروتید داخلی به کاروتید مشترک (ICA/CCA) و سرعت ماکزیمم سیستولیک قبل و بعد از گرفتگی اندازه‌گیری شدند. به منظور کاهش خطای اندازه‌گیری همه پارامترها ۵ مرتبه در فاصله‌های زمانی ۲ دقیقه‌ای طی مدت زمان ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شدند. سپس آستانه (ماکزیمم و مینیمم) و میانگین آن‌ها برای هر بیمار محاسبه گردید. نسبت PSV در ناحیه تنگ شدگی به PSV در بخش دیگری از شریان (با ۱۵ سانتیمتر فاصله از ناحیه گرفتگی) نیز محاسبه گردید. این پارامتر PSVr نام گذاری شده است.

تجزیه و تحلیل اطلاعات: با توجه به توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET در رابطه با نحوه تعیین میزان تنگ شدگی از پارامترهای به دست آمده فراصوتی، که در جدول ۱ آورده

جدول ۱- میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط روش داپلر سونوگرافی

پارامترهای اندازه‌گیری شده	میانگین \pm انحراف معیار
قطر شریان کاروتید داخلی در ناحیه تنگ شدگی (mm)	۳,۸۲ \pm ۰,۴۵
PSV آستانه (cm/sec)	۲۱۵,۴ \pm ۱۲,۶
PSV میانگین (cm/sec)	۲۷۸,۳ \pm ۱۱,۹
EDV (cm/sec)	۱۰۳,۷ \pm ۶,۴
ICA/CCA	۳,۴۴ \pm ۱,۶۶
PSVr	۱,۳۳ \pm ۰,۴۶

و تکنیک‌های تصویربرداری، روش‌های غیر تهاجمی یا کمتر تهاجمی مانند سی تی آنژیوگرافی (CTA)، ام آر آنژیوگرافی (MRA) و تصویربرداری فراصوت به همراه داپلر یا داپلکس، به منظور بررسی تنگی و گرفتگی‌های شریانی مورد استفاده می‌باشند (۷-۴). روش فراصوتی داپلر را می‌توان کم تهاجمی‌ترین یا غیرتهاجمی‌ترین روش در بررسی گرفتگی عروق کاروتید به حساب آورد. معمولاً از این روش به منظور تشخیص اولیه در افراد مشکوک به گرفتگی عروق استفاده می‌شود و به عنوان روشی برای ارزیابی نهایی و مانیتورینگ بیماران از آن استفاده نکرده و بدین منظور از آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال استفاده می‌شود. مزیت آنژیوگرافی نسبت به سایر روش‌ها، امکان انجام فرآیندهای آنژیوپلاستی مانند قرار دادن استنت، بالون و... همزمان با انجام آنژیوگرافی می‌باشد. اما از دیدگاه دوز تابشی به بیمار در مطالعات انجام شده، می‌توان بیان نمود که این روش بالاترین دوز تابشی را به بیمار در میان تمام روش‌های تشخیصی با استفاده از پرتوهای یونیزان را دارد (۳). در بیمارانی که نیاز به آنژیوپلاستی نداشته و تنها بررسی میزان تنگی مورد نظر است، می‌توان سایر روش‌ها مانند CTA و داپلر فراصوتی همراه با سونوگرافی را به عنوان جایگزینی مناسب در نظر گرفت.

ارتباط‌هایی میان پارامترهای ساختاری و همودینامیکی شریان کاروتید که در سونوگرافی داپلر مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند و میزان تنگ شدگی شریان کاروتید در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۴ و ۸-۱۰). با پیدا کردن پارامترهای بهینه به منظور تحلیل نتایج داپلر فراصوتی توسط سازمان‌های مختلف مانند انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET (north american symptomatic carotid endarterectomy trial)، حساسیت و ویژگی روش‌های داپلر فراصوتی بهبود قابل توجهی یافته‌اند و احتمال می‌رود این روش‌ها بتوانند در آینده جایگزین مناسبی برای روش‌های تهاجمی‌تر مانند DSA گردند (۴). هدف این تحقیق بررسی و ارزیابی نتایج روش سونوگرافی داپلر در تشخیص و تعیین میزان تنگی شریان کاروتید داخلی در مقایسه با نتایج DSA برای بیماران با گرفتگی‌های بالاتر از ۵۰٪ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۲۰ بیمار مرد که قبلاً تحت آزمون آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال قرار

۹۵/۲٪ به ترتیب برای توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET به دست آمد و مقادیر ویژگی نیز به ترتیب ۹۶/۷٪ و ۹۷/۱٪ محاسبه شد.

بحث

آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال (DSA)، همراه با تزریق درون رگی ماده حاجب، هنوز به عنوان استاندارد طلایی در بررسی گرفتگی‌های شریان کاروتید مورد استفاده می‌باشد (۳). روش‌های غیر تهاجمی و کمتر تهاجمی مانند MRA، CTA و سونوگرافی داپلر یا داپلکس به عنوان روش‌های جایگزین در بسیاری از مراکز تشخیصی و تصویربرداری کاربرد پیدا کرده‌اند و به عنوان روش اولیه در تشخیص بیماری از سونوگرافی داپلر و در مرحله دوم از CTA و MRA استفاده می‌کنند. اما تشخیص نهایی میزان گرفتگی به ویژه در بیماران با میزان گرفتگی بالای ۵۰٪ با روش DSA مشخص می‌گردد (۴). در تحلیلی که بر روی ۱۱ مطالعه در زمینه مقایسه حساسیت و ویژگی این روش‌های تصویربرداری در بیماران با گرفتگی شریان بالای ۵۰٪ انجام گردیده، نشان داده شده است که حساسیت CTA می‌تواند به ۱۰۰٪ هم برسد، در حالی که حساسیت روش‌های MRA و سونوگرافی داپلر به طور میانگین به ترتیب در حدود ۹۳/۹٪ و ۷۰/۲٪ گزارش شده است. ویژگی روش‌های CTA، MRA و سونوگرافی داپلر نیز به ترتیب ۹۵/۲٪، ۹۴/۸٪ و ۹۷/۷٪ گزارش شده بود (۱۳). سایر گزارش‌ها نیز حاکی از برتری نسبی CTA نسبت به سونوگرافی داپلر در تشخیص گرفتگی‌های شریانی بالاتر از ۵۰٪ بود (۱۴). متغیرهای دیگری که در انجام سونوگرافی داپلر و ارزیابی نتایج به دست آمده از این روش بسیار تأثیر گذار هستند، مهارت و روش انجام آن می‌باشند. ممکن است، حساسیت و ویژگی روش سونوگرافی داپلر از مرکزی تا مرکز دیگر حتی با دستگاه‌ها و تجهیزات یکسان، متفاوت باشد (۴ و ۱۰-۸). در مطالعه‌ای (۸)، نشان

شده‌اند، پارامترهای ثبت شده ساختاری و همودینامیکی تحلیل شده و میزان گرفتگی با توجه به این توصیه‌ها محاسبه شد. به عنوان مرجع، گزارشات DSA بیماران نیز مورد بررسی قرار گرفت و میزان تنگی شریان کاروتید مشخص شد. ویژگی و حساسیت روش داپلر فراصوتی با توجه به توصیه سازمان‌های مذکور در مقایسه با نتایج DSA، محاسبه گردید. همچنین آزمون آماری Paired sample T-test جهت مقایسه DSA با نتایج داپلر سونوگرافی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط روش داپلر سونوگرافی برای ۲۰ بیمار این تحقیق، در جدول شماره ۱ آورده شده است. همچنین با توجه به این مقادیر برای هر یک از بیماران، میزان تنگی شریان کاروتید با استناد به توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان (۱۱) و NASCET (۱۲) محاسبه شده و با نتایج DSA، به عنوان استاندارد طلایی مقایسه گردید که در جدول ۲ قابل مشاهده است.

آزمون آماری Paired sample t-test میان نتایج به دست آمده برای درصد گرفتگی شریان کاروتید داخلی برای ۲۰ بیمار مرد، حاکی از آن بود که بین نتایج داپلر فراصوتی (هم بر اساس توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و هم NASCET) با نتایج آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال، تفاوت معناداری وجود ندارد ($P < 0/05$). همچنین نتایج داپلر فراصوتی به دست آمده بر اساس توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان با NASCET نیز تفاوت معناداری را نشان نداد ($P < 0/05$).

حساسیت و ویژگی روش داپلر فراصوتی در مقایسه با DSA، بر اساس توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET محاسبه گردید که مقادیر محاسبه شده برای حساسیت ۹۴/۵٪ و

جدول ۲- مقایسه نتایج میزان گرفتگی شریان کاروتید داخلی به دست آمده از روش سونوگرافی داپلر با نتایج DSA

DSA	NASCET	انجمن فراصوت در پزشکی آلمان	میانگین \pm انحراف معیار (%)
۷۱,۳ \pm ۸,۸	۶۷,۹ \pm ۸,۵	۶۹,۸ \pm ۹,۷	
۵۸,۴ - ۷۹,۱	۵۶,۰ - ۷۴,۴	۵۸,۲ - ۷۵,۷	بازه اطمینان ۹۵٪ (%)
۶۷,۳	۶۵,۵	۶۵,۷	میانه (%)

عدم مهارت کاربر در استفاده از دستگاه فراصوت می‌باشد، در این تحقیق با استفاده از افراد خبره و با مهارت و همچنین تکرار آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها برای هر فرد (۵ بار اندازه‌گیری) و در نهایت میانگین‌گیری از تکرارها، سعی شده است، خطای مربوط به عامل انسانی کاهش پیدا نماید.

روش‌های کم‌تهاجمی‌تر و پرهزینه‌تر مانند ام‌آر آنژیوگرافی و سی‌تی آنژیوگرافی نیز در مطالعات انجام شده قبلی دارای حساسیت و ویژگی بالاتری نسبت به روش داپلر فراصوتی در تشخیص تنگ‌شدگی شریان‌ها بودند (۷، ۱۱، ۱۵)، با پیشرفت تکنیک‌ها و تجهیزات روش داپلر فراصوتی، این روش می‌تواند دقیق‌تر و صحیح‌تر اجرا شده و با توجه به هزینه کمتر تجهیزات آن، جایگزین سایر روش‌ها در تشخیص و تعیین میزان گرفتگی شریان‌های کاروتید گردد. مطالعات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی تکنیک‌های داپلر سونوگرافی و به دست آوردن پارامترهای مربوطه، مورد نیاز می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، روش داپلر فراصوتی با داشتن حساسیت و ویژگی بالاتر در تشخیص تنگ‌شدگی‌های شریان کاروتید و همچنین دقت اندازه‌گیری مناسب در تعیین میزان تنگ‌شدگی این شریان، می‌تواند به عنوان روشی غیرتهاجمی و با کاربری آسان در تشخیص و تعیین بیماری گرفتگی شریان کاروتید، به ویژه در کسانی که نیاز به آنژیوپلاستی ندارند، جایگزین روش‌های تهاجمی‌ای مانند آنژیوگرافی و آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از طرح تحقیقاتی با عنوان «مقایسه نتایج حاصل از داپلر سونوگرافی، سی‌تی آنژیوگرافی و آنژیوگرافی تفریقی دیجیتال در تشخیص تنگ‌شدگی‌های شریان کاروتید» با کد ۳۵۶۹۹۱۴۸ مصوب بیمارستان شهدای تجریش دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در سال ۱۳۹۶ می‌باشد.

داده شده است که همبستگی قوی‌ای میان نتایج به دست آمده از سونوگرافی داپلر و DSA، در ارزیابی تنگی شریان کاروتید وجود دارد. در این مطالعه از پارامتر PSVr به جای PSV استفاده شده بود که در مطالعات قبلی نشان داده شده است PSVr می‌تواند ارزش تشخیصی بهتری نسبت به PSV داشته باشد (۹، ۱۱). در این تحقیق حساسیت و ویژگی به دست آمده از روش تشخیصی سونوگرافی داپلر با توجه به توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان و NASCET با نتایج حاصل از DSA، محاسبه شد. حساسیت و ویژگی بالای به دست آمده در این مطالعه نشان‌دهنده آن است که می‌توان از روش‌های داپلر سونوگرافی (بر اساس توصیه‌های انجمن فراصوت در پزشکی آلمان یا NASCET)، با اطمینان بالایی در تشخیص میزان تنگ‌شدگی‌های شریان کاروتید داخلی، استفاده کرد. آنالیز آماری paired t-test نیز با سطح اطمینان ۹۵٪، تفاوتی میان روش‌های داپلر فراصوتی با نتایج DSA، نشان نداد. به علاوه تفاوت معناداری میان توصیه‌های دو سازمان مذکور نیز وجود نداشت، بدین معنی که می‌توان از هر دو توصیه با اطمینان بالایی در تحلیل نتایج به دست آمده از داپلر فراصوتی جهت تشخیص میزان تنگ‌شدگی شریان کاروتید داخلی، استفاده نمود. دلیل متفاوت نبودن نتایج حاصل از این دو توصیه در تشخیص میزان تنگی شریان کاروتید را می‌توان در یکسان بودن تقریبی محدودیت‌هایی که برای تشخیص از طرف این دو سازمان اعلام شده است (۱۱، ۱۲)، جستجو نمود. مقایسه حساسیت و ویژگی به دست آمده از این تحقیق با مقادیر حساسیت و ویژگی‌های به دست آمده در سایر مطالعات (۴، ۷، ۸، ۱۵، ۱۶) نشان می‌دهد که حساسیت و ویژگی به دست آمده در این تحقیق نسبت به سایر مطالعات مقادیر بیشتری دارد، دلیل این موضوع چندین عامل می‌باشد، نخست آن که در این تحقیق تنها تنگ‌شدگی‌های بالای ۵۰٪ که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و دومین عامل نیز استفاده از توصیه‌های جدیدی که توسط سازمان‌های معتبر به تازگی در این زمینه منتشر شده‌اند. همچنین عامل مهم دیگری که بسیار حائز اهمیت می‌باشد،

References

- 1- Caplan LR. Carotid-artery disease [Internet]. Mass Medical Soc; 1986 [cited 2017 Sep 12]. Available from: <http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJM198610023151408>
- 2- Sobieszczyk P, Beckman J. Carotid artery disease. *Circulation*. 2006;114(7):e244–e247.
- 3- Chilcote WA, Modic MT, Pavlicek WA, Little JR, Furlan AJ,



- Duchesneau PM, et al. Digital subtraction angiography of the carotid arteries: a comparative study in 100 patients. *Radiology*. 1981;139(2):287–295.
- 4- Škoda O, Kalvach P, Procházka B, Svárovský M. Non-invasive evaluation of proximal vertebral artery stenosis using color Doppler sonography and CT angiography. *J Neuroradiol*. 2014;41(5):336–341.
 - 5- Alvarez-Linera J, Benito-León J, Escribano J, Campollo J, Gesto R. Prospective evaluation of carotid artery stenosis: elliptic centric contrast-enhanced MR angiography and spiral CT angiography compared with digital subtraction angiography. *Am J Neuroradiol*. 2003;24(5):1012–1019.
 - 6- Silvennoinen HM, Ikonen S, Soinnie L, Railo M, Valanne L. CT angiographic analysis of carotid artery stenosis: comparison of manual assessment, semiautomatic vessel analysis, and digital subtraction angiography. *Am J Neuroradiol*. 2007;28(1):97–103.
 - 7- Nederkoorn PJ, van der Graaf Y, Hunink MM. Duplex ultrasound and magnetic resonance angiography compared with digital subtraction angiography in carotid artery stenosis. *Stroke*. 2003;34(5):1324–1331.
 - 8- Hua Y, Meng X-F, Jia L-Y, Ling C, Miao Z-R, Ling F, et al. Color Doppler imaging evaluation of proximal vertebral artery stenosis. *Am J Roentgenol*. 2009;193(5):1434–1438.
 - 9- Yurdakul M, Tola M. Doppler criteria for identifying proximal vertebral artery stenosis of 50% or more. *J Ultrasound Med*. 2011;30(2):163–168.
 - 10- Koch S, Romano JG, Park H, Amir M, Forteza AM. Ultrasound velocity criteria for vertebral origin stenosis. *J Neuroimaging*. 2009;19(3):242–245.
 - 11- Barlind K, Floegel T, Kitzler HH, Kepplinger J, Siepmann T, Pallesen L-P, et al. Multi-parametric ultrasound criteria for internal carotid artery disease—comparison with CT angiography. *Neuroradiology*. 2016;58(9):845–851.
 - 12- Alexandrov AV, Vital D, Brodie DS, Hamilton P, Grotta JC. Grading carotid stenosis with ultrasound. *Stroke*. 1997;28(6):1208–1210.
 - 13- Khan S, Cloud GC, Kerry S, Markus HS. Imaging of vertebral artery stenosis: a systematic review. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2007;78(11):1218–1225.
 - 14- Farres MT, Grabenwöger F, Magometschnig H, Trattng S, Heimberger K, Lammer J. Spiral CT angiography: study of stenoses and calcification at the origin of the vertebral artery. *Neuroradiology*. 1996;38(8):738–743.
 - 15- Puchner S, Haumer M, Rand T, Reiter M, Minar E, Lammer J, et al. CTA in the detection and quantification of vertebral artery pathologies: a correlation with color Doppler sonography. *Neuroradiology*. 2007;49(8):645–650.
 - 16- Khan S, Rich P, Clifton A, Markus HS. Noninvasive Detection of Vertebral Artery Stenosis. *Stroke*. 2009;40(11):3499–3503.