مجله دانشکده پزشکی اصفهان
سال بیست و نهم/شماره ۱۷٤/ ویژه نامه (مهندسی پزشکی) ۱۳۹۰
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۵

محاسبه‌ی الاستیسیته‌ی حجمی جهت تعیین میزان تاثیر دیابت بر روی تصلب شریان

سید مرتضی سیدپور[۱]، محمد پاچناری[۱] دکتر منصور علیزاده[۲]

چکیده

مقدمه: بیماری دیابت، یک بیماری اختلال متابولیکی است که در نتیجه‌ی آن قند خون فرد افزایش می‌یابد. از سوی دیگر این بیماری به عنوان عاملی برای ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی نیز شناخته می‌شود. یکی از این بیماری‌ها بیماری تصلب شرایین است. در بیماری تصلب شریان الاستیسیته‌ی رگ دچار تغییر می‌شود. از این رو می‌توان تغییر الاستیسیته را به عنوان عاملی برای پیشرفت بیماری دانست.

روش‌ها: در این مقاله الاستیسیته‌ی حجمی رگ به دو روش اندازه‌گیری قطر شریان در دو حالت سیستول و دیاستول با دستگاه اکوگاردیوگرام با داپلر رنگی و اندازه‌گیری سرعت انتشار موج (Pulse wave velocity یا C(PWV)) با دستگاه Sphygmocor انجام گرفته است.

یافته‌ها: الاستیسیته‌ی حجمی برای ۷ بیمار مبتلا به دیابت و یک نفر شاهد با روش C(PWV) و همچنین فقط برای شاهد با اکوکاردیوگرام محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: با مقایسه‌ی الاستیسیته‌ی محاسبه شده از C(PWV) گروه بیماران با مقادیر افراد سالم در سن‌های مختلف، می‌توان به وضوح دریافت که دیابت بر روی افزایش الاستیسیته‌ی حجمی موثر است. این تاثیر را می‌توان در مدت زمان ابتلا به دیابت به خوبی مشاهده کرد و از این رو C(PWV) می‌تواند به عنوان معیاری تشخیصی در ابتلا به بیماری تصلب شریان مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: الاستیسیته‌ی حجمی، تصلب شریان، دیابت، Pulse wave velocity

مقدمه

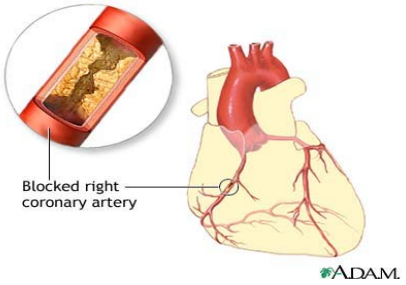
بیماری دیابت، یک بیماری اختلال متابولیکی است که در نتیجه‌ی آن قند خون فرد افزایش می‌یابد. افراد مبتلا به این بیماری به دو گروه کلی دیابت نوع اول و دوم تقسیم می‌شوند.

طبق بررسی انجام گرفته در ایالات متحده‌ی امریکا، دیابت موجب ابتلا به بیماری‌های کلیوی (ESRD یا End Stage renal disease)، قطع عضو در اندام تحتانی به دلیل بروز زخمهای دیابتی، کاهش و از بین رفتن بینایی در بزرگسالان می‌شود. هم‌چنین دیابت عوامل خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی را در فرد تقویت می‌نماید (۱). یکی از این بیماری‌ها، بیماری تصلب شرایین است. بیماری عروق کرونری قلب، به تنهایی شایع‌ترین علت مرگ در اروپاست، به این دلیل که موجب ۱/۹۲ میلیون مرگ در سال ۲۰۰۸ شده است (۲). این بیماری موجب باریک شدن رگ‌های کوچکی می‌شود که خون آن‌ها حاوی اکسیژن و مواد مغذی برای عضلات قلب و بافت‌های اطراف آن است (شکل ۱). شایع‌ترین شکل این بیماری، تصلب شریان است که موجب جمع آوری پلاک‌ها در یک یا چند شریان کرونری شده و جریان خون را محدود می‌کند. در بیماری تصلب شریان الاستیسیته‌ی رگ دچار تغییر می‌شود. از این رو می‌توان تغییر الاستیسیته‌ی را به عنوان عاملی برای

[۱] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نویسنده‌ی مسؤول: محمد پاچناری
Email: mpachenari@gmail.com

www.mui.ac.ir

پیشرفت بیماری دانست.



شکل ۱. گرفتگی عروق کرونری قلب (۳)

روش‌ها

الاستیسیته‌ی مواد در قانون هوک به صورت ضریب تناسب بین تنش کششی اعمالی و میزان تغییر طول بیان می‌گردد. این قانون در یک میله‌ی الاستیک با طول L به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$P = E\frac{\Delta L}{L} \qquad .۱$$

در این رابطه E ضریب الاستیسیته‌ی ماده (Young's modulus) و P تنش اعمالی به میله است.

در استوانه‌های جدار نازک با شعاع داخلی r و هم‌چنین ضخامت جداره‌ی h که از هر دو انتها باز است؛ این رابطه را می‌توان به صورت زیر بیان نمود.

$$\Delta P\frac{r}{h} = E\frac{\Delta r}{r} \qquad .۲$$

که r شعاع داخلی، h ضخامت جداره و ΔP تغییر در فشار داخلی استوانه است. اگر نسبت h/r بسیار کوچک باشد در این صورت شعاع داخلی و خارجی تقریباً با یکدیگر برابر خواهند بود. اگر چه نمی‌توان رگ را به طور کامل الاستیک در نظر گرفت و این امر به دلیل خواص ویسکوز آن و هم‌چنین نیروهای خارجی اعمالی از سوی ماهیچه‌های اطراف رگ است اما با وجود این در صورتی که الاستیسیته‌ی رگ را با بهره‌گیری از رابطه‌ی ۲ محاسبه نماییم می‌توان به خواص مهمی از رگ دست یافت.

یک روش دیگر برای محاسبه ضریب الاستیسیته از طریق رابطه Moens–Korteweg است. این رابطه به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$C(PWV) = \sqrt{\frac{Eh}{2\rho r}} \qquad .۳$$

در رابطه‌ی فوق Pulse wave velocity یا C(PWV) سرعت انتشار موج در، h ضخامت جداره‌ی رگ، ρ چگالی خون و r شعاع داخلی رگ است.

در هر دو رابطه‌ی ۲ و ۳ به دلیل وجود پارامترهای هندسی رگ، در محاسبه‌ی الاستیسیته خطا تولید می‌گردد. یکی از منابع اصلی این خطاها در محاسبه‌ی ضخامت جداره‌ی رگ (h) رخ می دهد؛ زیرا نمی‌توان ضخامت جداره را با دقت بالا اندازه‌گیری نمود. خطای اندازه‌گیری در حالت In vivo تا حدود ۱۰۰٪ نیز گزارش شده است (۵-۴).

ضریب پیشنهادی

از آن‌جا که در همودینامیک میزان آسانی تغییر فرم دیواره‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این پدیده به ابعاد هندسی رگ مانند ضخامت، قطر رگ و هم‌چنین به جنس بافتی که رگ از آن تشکیل یافته است وابسته است. برای مطالعه‌ی این پدیده و هم‌چنین برای پرهیز از بروز خطا، استفاده از ضریب دیگری که ضریب الاستیسته‌ی حجمی نامیده می‌شود و به صورت زیر محاسبه می‌گردد پیشنهاد می‌شود.

$$\Delta P = \mu\frac{\Delta V}{V} \qquad .۴$$

ارتباط بین الاستیسیته‌ی حجمی (μ) والاستیسیته (E) را می‌توان به صورت زیر بیان نمود. اگر V حجم یک بخش از رگ به *طول* l باشد خواهیم داشت:

$$V = l\pi r^2$$

تغییر حجم از رابطه‌ی زیر بدست می آید:

$$\Delta V = 2\pi r l \Delta r$$

در این صورت:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{2\Delta r}{r} \qquad .۵$$

www.mui.ac.ir

و با در نظر گرفتن روابط ۲، ۴ و ۵ خواهیم داشت:

$$\mu = \frac{Eh}{2r} \quad (۶)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۳ و ۶ رابطه‌ی Moens–Korteweg به صورت زیر ساده می‌گردد:

$$C(PWV) = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (۷)$$

روش اندازه‌گیری μ

μ را می‌توان به چندین روش اندازه‌گیری نمود که در این مقاله دو روش معرفی می‌گردد. در این مقاله الاستیسیته‌ی حجمی با این دو روش برای یک فرد سالم، مذکر و ۲۵ ساله اندازه‌گیری شد.

روش اول. محاسبه‌ی μ با اندازه‌گیری قطر رگ در دو حالت سیستول و دیاستول

در این روش با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگرام با داپلر رنگی (مدل GE vivi d3) از Common carotid artery در دو حالت سیستول و دیاستول عکس‌برداری شد (شکل های ۲، ۳ و ۴). سپس از روی این تصاویر، قطر این رگ در مقطع مشخص شده تعیین گردید. هم‌چنین فشار فرد با دستگاه فشار سنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. این نتایج در جدول ۱ گزارش شده است .

با توجه به رابطه‌ی ۴ و با استفاده از دو رابطه‌ی زیر:

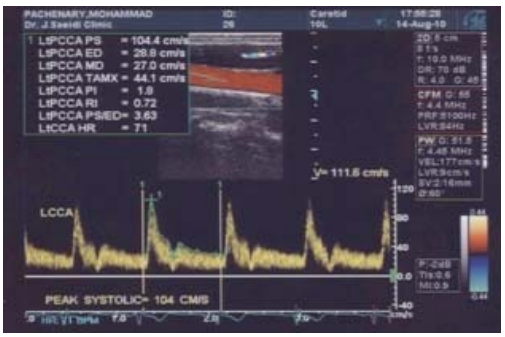
$$\Delta P = P_s - P_d$$
$$\Delta V = V_s - V_d$$

خواهیم داشت:

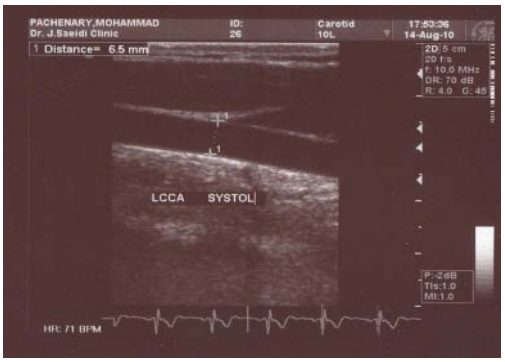
$$\mu = (P_s - P_d)\frac{d_d^2}{d_s^2 - d_d^2} \quad (۸)$$

در رابطه‌ی فوق d_d و d_s به ترتیب قطر رگ در حالت سیستول و دیاستول است.

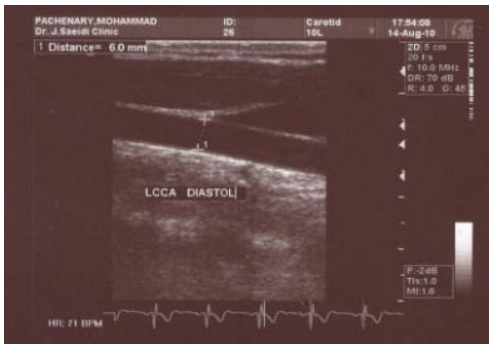
از معایب این روش آن است که الاستیسیته‌ی حجمی محاسبه شده در این روش الاستیسیته‌ی محلی است و از روی آن نمی‌توان قضاوت درستی در مورد کل سیستم گردش خون داشت. به همین جهت از روش محاسبه‌ی الاستیسیته با اندازه‌گیری C(PWV) می‌توان برای بیان ارتباط دیابت با آترواسکلروزیس بهره جست.



شکل ۲. تصویر داپلر رنگی از Common carotid artery



شکل ۳. قطر رگ فرد سالم در حالت سیستول



شکل ۴. قطر رگ فرد سالم در حالت دیاستول

روش دوم. محاسبه‌ی μ با اندازه‌گیری C(PWV)

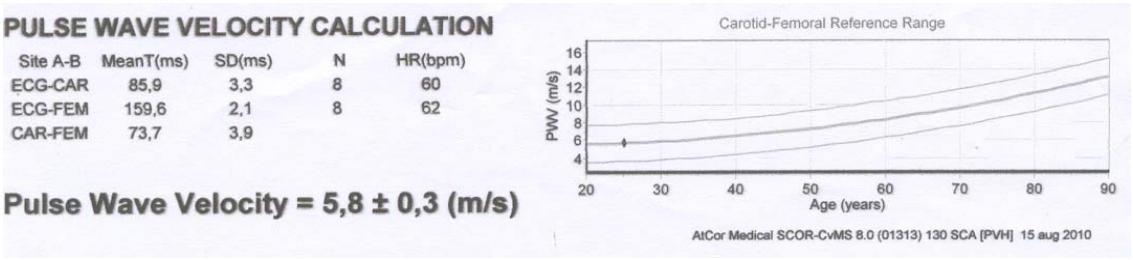
در این روش C(PWV) با استفاده از دستگاه Sphygmocor اندازه‌گیری می‌شود. C(PWV) بین

www.mui.ac.ir

جدول ۱. پارامترهای اندازه‌گیری شده برای فرد نمونه

جنس	سن (سال)	P_s (mmHg)	P_d (mmHg)	d_s (mm)	d_d (mm)	C(PWV) (m/s)	μ روش دوم (mmHg)	μ روش اول (mmHg)
مرد	۲۵	۱۲۰	۹۰	۶/۵	۶	۵/۸ ± ۰/۳	۲۶۴/۸	۱۷۲/۸

PWV: Pulse wave velocity



شکل ۵. نتایج گزارش شده از دستگاه Sphygmocor برای فرد سالم

شریان کاروتید گردنی و شریان گذرنده از ران اندازه‌گیری شد. برای این منظور فاصله‌ی نبض گردن و نبض فمورال تا استرنوم توسط متر اندازه‌گیری گردید و به همراه قد، وزن، فشار سیستول و دیاستول به عنوان اطلاعات اولیه به دستگاه وارد شد. دستگاه Sphygmocor، C(PWV) را به صورتی که در شکل ۵ آورده شده است؛ گزارش می‌کند.

یافته‌ها

در این بخش اطلاعات و نتایج مربوط به هفت بیمار دیابتی که دارای سوابق مدون هستند؛ بدون سابقه‌ی بیماری قلبی که در طیف سنی ۸۰-۴۰ سال قرار دارند؛ در جدول ۲ آورده شده است. این افراد طبق اظهار خود دخانیات استعمال نمی‌کردند.

بحث

با استفاده از مقادیر C(PWV) برای افراد سالم که در جدول ۳ آورده شده است الاستیسیته‌ی حجمی برای افراد سالم محاسبه گردید. با مقایسه‌ی الاستیسیته‌ی حجمی گروه بیماران با الاستیسیته‌ی افراد عادی می‌توان به وضوح دریافت که دیابت بر روی افزایش الاستیسیته مؤثر است.

جدول ۲. C(PWV) اندازه‌گیری شده برای بیماران

نمونه	جنس	سن (سال)	C(PWV) (m/s)	μ (mmHg)
۱	مرد	۴۲	۱۳/۰ ± ۱/۳	۱۳۳۰/۶ ± ۱۳/۳
۲	زن	۵۲	۷/۹ ± ۰/۴	۴۹۱/۴ ± ۱/۳
۳	مرد	۵۳	۱۱/۰ ± ۱/۰	۹۵۲/۷ ± ۷/۹
۴	زن	۵۷	۹/۸ ± ۰/۶	۷۵۶/۲ ± ۲/۹
۵	مرد	۶۰	۱۰/۱ ± ۰/۶	۸۰۳/۲ ± ۲/۹
۶	مرد	۶۹	۹/۶ ± ۰/۵	۷۲۵/۶ ± ۲/۰
۷	زن	۷۸	۹/۸ ± ۱/۰	۷۵۶/۲ ± ۷/۹

PWV: Pulse wave velocity

در مورد افراد مورد آزمایش، فرد نمونه‌ی ۱ با وجود آن‌که کم‌ترین سن را داراست؛ در بحرانی‌ترین شرایط قرار دارد. در توضیح این امر باید چند نکته را در نظر گرفت. نخست آن‌که، آن‌چه از اهمیت بالایی برخوردار است؛ مدت زمانِ ابتلای فرد به بیماری دیابت است و سن فرد در مرحله‌ی بعدی اهمیت قرار دارد. هم‌چنین میزان تاثیر دیابت بر روی الاستیسیته با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی در هر فرد متفاوت است. فرد

www.mui.ac.ir

نمونه‌ی ۷ با وجود سن بالا در شرایط نرمال قرار دارد، دلیل این امر مدت زمان کم ابتلا به دیابت این فرد است. مدت زمان ابتلای این فرد به دیابت ۶ سال است.

اما به طور کلی می توان با اطمینان اظهار کرد که دیابت سبب افزایش الاستیسیته گردیده و احتمال ابتلا به تصلب شرایین در این بیماران بیش از افراد عادی است. هم‌چنین می‌توان با اطمینان بیان داشت هر چه سن ابتلا به دیابت بیش‌تر باشد؛ این احتمال بیش‌تر است. از آن‌جا که عامل ژنتیک در میزان تغییر الاستیسیته از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بررسی توأمان ابتلا به دیابت و عامل ژنتیک می‌تواند سبب قضاوت مناسب‌تری در این زمینه گردد.

به دلیل تاثیر مستقیم دیابت بر الاستیسیته، این گروه بر این باور است؛ در صورتی که بیماران دیابتی از مراحل اولیه‌ی بیماری تحت مراقبت‌های قلب عروقی قرار گیرند؛ کیفیت زندگی بهتری خواهند داشت.

از آن‌جا که Low density lipoprotein (LDL) و کلسیم از جمله عوامل تشدید کننده‌ی تصلب شرایین هستند؛ این دو پارامتر به همراه قند خون این افراد همواره باید تحت کنترل قرار گیرد.

در پایان می‌توان به این نکته اشاره کرد که C(PWV) می‌تواند به عنوان معیاری تشخیصی در بیماری تصلب شرایین مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۳. مقادیر C(PWV) و الاستیسیته‌ی حجمی برای افراد سالم (۶)

سن	C(Pwv) (m/s)	μ (mmHg)
<۳۰	۶/۶ (۴/۹–۸/۲)	۳۴۲/۹ (۱۸۹/۱–۵۲۹/۴)
۳۰–۳۹	۶/۸ (۴/۲–۹/۴)	۳۴۶/۱ (۱۳۸/۹–۶۹۵/۷)
۴۰–۴۹	۷/۵ (۵/۱–۱۰/۰)	۴۴۲/۹ (۲۰۴/۸–۷۸۷/۲)
۵۰–۵۹	۸/۴ (۵/۱–۱۱/۷)	۵۵۵/۵ (۲۰۴/۹–۱۰۷۷/۹)
۶۰–۶۹	۹/۷ (۵/۷–۱۳/۶)	۷۰۴/۸ (۲۵۵/۸–۱۴۵۶/۲)
>۷۰	۱۱/۷ (۶/۰–۱۷/۵)	۱۰۷۷/۸ (۲۵۵/۸–۱۴۵۶/۳)

PWV: Pulse wave velocity

تشکر و قدردانی

در این مقاله از مساعدت و راهنمایی دکتر فخر زاده عضو هیأت علمی مرکز دیابت بیمارستان دکتر شریعتی تهران و دکتر پاچناری کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Fauci A, Braunwald E, Kasper D, Hauser S, Longo D, Jameson J, et al. Harrison's principles of internal medicine. 2nd ed. London, UK: McGraw-Hill; 2008. p. 338.
2. Allender S, Scarborough P, Peto V, Raymer M, Leal J, Luengo-Fernandez R, et al. European cardiovascular disease statistics. European Heart Network; 2008. [Online]. Available from: http://www.herzstiftung.ch/uploads/media/European_cardiovascular_disease_statistics_2008.pdf
3. Blocked right coronary artery. [Figure]. [Online]. Available from: www.ADAM.com.
4. Peterson LH, Jensen RE, Parnell J. Mechanical properties of arteries in vivo. Circulation Research 1960; 8(3): 622-39.
5. Rutherford RB. Vascular surgery. 1st ed. London, UK: W.B. Saunders; 1995. p. 45-6.
6. Boutouyrie P. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: establishing normal and reference values. Eur Heart J 2010; 31(19): 2338-50.

www.mui.ac.ir

Journal of Isfahan Medical School Original Article

Vol 29, No 174, Special Issue (Biomedical Engineering) 2012 Received: 12.10.2011 Accepted: 15.1.2012

Evaluation of Bulk Elasticity to Identify the Effects of Diabetes on Atherosclerosis

Seyed Morteza Seyedpour MSc[1], Mohammad Pachenari MSc[1], Mansour Alizadeh PhD[2]

Abstract

Background: Diabetes mellitus (DM) is a group of metabolic disorders that lead to hyperglycemia. It also predisposes patients to cardiovascular diseases including atherosclerosis. Atherosclerosis alters the elasticity of arteries. Therefore, changes in elasticity of arteries can be a characteristic of disease progression.

Methods: Bulk elasticity of seven individuals with diabetes and a healthy individual was evaluated by measurement of artery diameter during systolic and diastolic phases using Doppler echocardiography and measurement of pulse wave velocity (PWV) using the Sphygmocor system.

Findings: Comparing the bulk elasticity evaluated by PWV of the diabetic group with normal ranges in different ages clarified the effects of diabetes on increasing bulk elasticity. The effect of diabetes on bulk elasticity is more obvious as the disease duration increases.

Conclusion: PWV can be used as a method to distinguish the characteristics of atherosclerosis.

Keywords: Bulk elasticity, Atherosclerosis, Diabetes, Pulse wave velocity

[1] Department of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
Corresponding Author: Mohammad Pachenari MSc, Email: mpachenari@gmail.com