دانشگاه مازندران

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

گروه طراحی کاربردی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک

عنوان

تحلیل اجزای محدود رفتار مکانیکی استنت شریانی

استاد راهنما: دکتر محمّد حسن حجتی

استاد مشاور: دکتر علی معظمی گودرزی

نگارش: نیما عشقی

شهریور ماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه مازندران

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

گروه طراحی کاربردی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک

عنوان

تحلیل اجزای محدود رفتار مکانیکی استنت شریانی

استاد راهنما: دکتر محمّد حسن حجتی

استاد مشاور: دکتر علی معظمی گودرزی

نگارش: نیما عشقی

شهریور ماه ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر مهربان

که درس زندگی و محبت را به من آموختند.

با سپاس فراوان از

استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حجتی

که با راهنمایی‌های خود مرا در انجام این پروژه یاری رساندند.

و با تشکر از استاد بزرگوار

جناب آقای دکتر معظمی گودرزی

که مشاوره پروژه را عهده دار شدند.

چکیده:

امروزه یکی از بیماری های شایع در بین جوامع بشری، انسداد شریان کورونری قلب در سنین بالا می باشد. منظور از انسداد شریان، رسوب کردن ذرات زاید معلق در خون همچون چربی و کلسیم بر روی دیواره عروق است. این امر موجب اخلال در جریان طبیعی خون رسانی به اندام های بدن می گردد و در مواردی همچون شریان کورونری قلب که وظیفه آن خون رسانی به ماهیچه های قلب می باشد، این امر می تواند به مسئله ای خطرناک تبدیل گردد که در نهایت به حمله قلبی منجر می شود. یکی از روش های نوین برای درمان این عارضه، استفاده از وسیله ای به نام استنت می باشد. استنت طی یک عمل جراحی غیر باز توسط پزشک معالج به منظور باز نگه داشتن مسیر طبیعی جریان خون در محل مورد نظر قرار داده می شود. از جمله عوامل موثر در موفقیت استفاده از استنت، مسئله شناخت مشخصات مکانیکی آن در حین عمل استنت گذاری است. یک روش موثر و کارآمد در بدست آوردن رفتار مکانیکی استنت شریانی طراحی شده، روش تحلیل اجزای محدود می باشد. هدف از این تحقیق ارائه یک مدل شبیه سازی شده از رفتار مکانیکی یک نوع استنت شریانی توسط روش تحلیل اجزای محدود می باشد. این تحلیل به کمک نرم افزار اجزای محدود ABAQUS 6.6 انجام پذیرفته است. در این تحلیل، از یک مدل غیر خطی که شامل سه بخش بالون، استنت و رگ همراه با پلاک مسدود کننده می باشد استفاده گردیده است. به منظور انبساط استنت، فشار یکنواختی بر سطح داخلی بالون اعمال می گردد که باعث انبساط بالون و برقراری تماس بین بالون و استنت می شود. این عمل موجب انبساط استنت گردیده و در نهایت منجر به برقراری تماس بین استنت و سطح داخلی رگ مسدود شده می گردد. به منظور مدل کردن بالون، رگ و پلاک مسدود کننده از مدل غیر خطی هایپرالاستیک و به منظور مدل کردن استنت از مدل کشسان-مومسان دو خطی استفاده شده است. پس از مدل سازی صورت گرفته و اجرای آن توسط نرم افزار مربوطه، به استخراج و تحلیل نتایج بدست آمده همچون چگونگی توزیع تنش بر روی استنت و رگ، قطر بدست آمده، کاهش طول استنت و عمل خمش ایجاد شده در دو انتهای استنت پرداخته می شود. در نهایت، پس از بررسی اعتبار نتایج بدست آمده از این مدل، به مقایسه و نشان دادن مزیت های این مدل در پیش بینی رفتار مکانیکی استنت در حین عمل جاگذاری آن نسبت به مدل های ساده تر که صرفاً شامل بالون و استنت بوده است، پرداخته می شود. ارائه این مدل منجر به اصلاح شکل ظاهری استنت پس از انبساط، اصلاح توزیع تنش و نقاط بحرانی، ارائه چگونگی توزیع تنش بر روی رگ، اصلاح و کاهش میزان تنش حداکثر ایجاد شده و اصلاح نمودار های تغییرات قطر استنت، درصد کاهش طول و خمش ایجاد شده بر روی استنت گردیده است.

واژه های کلیدی:

تحلیل اجزای محدود- استنت- بالون- انسداد شریان کورونری- مدل سازی غیر خطی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مقدمه ای در مورد بیماری انسداد شریان خون رسانی به قلب و عمل استنت گذاری ۳
۱-۳- معرفی روش های مطالعه بیومکانیک ۸
۱-۳-۱- روش اجزای محدود و کاربرد آن در مهندسی پزشکی ۸
۱-۳-۲- ریالوژی و کاربرد آن ۹
۱-۴- هدف پایان نامه و ساختار آن ۱۰

فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- رگ ۱۳
۲-۲-۱- معرفی ساختار رگ ۱۳
۲-۲-۲- فرضیات مدل کردن رگ ۱۴
۲-۲-۳- مشخصات هندسی رگ ۱۵
۲-۲-۴ چگونگی مدل کردن خواص مکانیکی رگ ۱۵
۲-۲-۵- مدل هایپرالاستیک ۱۶
۲-۳- استنت ۱۸
۲-۳-۱- چگونگی انبساط استنت ها ۱۹
۲-۳-۲- جنس استنت ها ۲۱
۲-۳-۳- شکل هندسی استنت ها ۲۲
۲-۳-۴- مدل کردن و تحلیل تنش و کرنش استنت و پارامترهای موثر بر آن ۲۴
۲-۳-۴-۱- استفاده از تقارن هندسی در مدل کردن ۲۵
۲-۳-۴-۲- نوع المان شبکه بندی ۲۷
۲-۳-۴-۳- پارامترهای ورودی مدل کردن استنت ۲۷
۲-۳-۴-۴- پارامترهای خروجی ۲۹
۲-۳-۴-۵- اضافه کردن مدل بالون ۳۱
۲-۳-۴-۶- برهمکنش سطوح ۳۱
۲-۳-۴-۷- اضافه کردن مدل رگ مسدود شده ۳۱
۲-۴- نتیجه گیری ۳۴

فصل سوم: مراحل مدل سازی استنت شریانی

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- مدل استنت تک تحت فشار اعمالی داخلی ۳۸
۳-۲-۱- تعریف فیزیک مسئله ۳۸
۳-۲-۲- مدلسازی رفتار مکانیکی استنت در نرم افزار اجزای محدود ۴۱
۳-۳- مدل بالون-استنت ۴۳
۳-۳-۱- تعریف فیزیک مسئله ۴۴
۳-۳-۲- مدلسازی رفتار مکانیکی بالون-استنت در نرم افزار اجزای محدود ۴۴
۳-۴- مدل بالون-استنت-رگ ۴۶
۳-۴-۱- تعریف فیزیک مسئله ۴۷
۳-۴-۲- مدلسازی رفتار مکانیکی بالون-استنت-رگ در نرم افزار اجزای محدود ۴۸
۳-۵- نتیجه گیری ۵۲

فصل چهارم: ارائه نتایج و بحث و بررسی آن ها

۴-۱- مقدمه ۵۴
۴-۲- نتایج مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۵۴
۴-۲-۱- توزیع تنش ۵۴
۴-۲-۲- قطر استنت ۵۶
۴-۲-۳- حساسیت شبکه بندی مدل ۵۷
۴-۲-۴- مقایسه نتیجه بدست آمده با کار دیگران ۶۰
۴-۲-۵- میزان کاهش طول استنت ۶۱
۴-۲-۶- خمش در دو انتهای باز استنت ۶۲
۴-۳- نتایج مدل بالون-استنت ۶۴
۴-۳-۱- توزیع تنش ۶۴
۴-۳-۲- قطر استنت ۶۶
۴-۳-۳- مقایسه نتیجه بدست آمده با کار دیگران ۶۷
۴-۳-۴- میزان کاهش طول استنت ۶۹
۴-۳-۵- خمش در دو انتهای باز استنت ۶۹
۴-۴- نتایج مدل بالون-استنت-رگ به همراه پلاک مسدود کننده ۷۱
۴-۴-۱- توزیع تنش ۷۲
۴-۴-۲- قطر ۷۵
۴-۴-۳- میزان کاهش طول استنت ۷۶

۴-۴-۴- خمش در دو انتهای باز استنت ۷۷
۴-۴-۵- بحث در مورد اعتبار نتایج بدست آمده ۶۰
۴-۵- مقایسه نتایج بدست آمده از مدل های مختلف ارائه شده ۸۱
۴-۵-۱- مقایسه شکل های هندسی استنت پس از انبساط ۸۲
۴-۵-۲- مقایسه تنش های ایجاد شده بر روی استنت ۸۳
۴-۵-۳- مقایسه تغییرات قطر استنت ۸۴
۴-۵-۴- مقایسه درصد کاهش طول ۸۵
۴-۵-۵- مقایسه خمش ایجاد شده در استنت ۸۶
۴-۶- نتیجه گیری ۸۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۹۱
۵-۲- پیشنهادات ۹۴

مراجع ۹۷

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱): تصویری از شریان های کورونری بر روی قلب. ۳
شکل (۱-۲): تصویری از یک رگ به همراه پلاک مسدود کننده ۴
شکل (۱-۳): نمایی از یک استنت کار گذاری شده در داخل شریان ۶
شکل (۲-۱): تصویری از استنت منبسط شونده توسط بالون. سمت چپ عمل باز شدن و سمت راست استنت باقی مانده پس از خارج کردن بالون ۲۰
شکل (۲-۲): تقسیم بندی جنس مواد به کار رفته در تولید استنت ۲۲
شکل (۲-۳): استنت لوله ی شیاردار ۲۳
شکل (۲-۴): استنت لوله ی مارپیچ ۲۳
شکل (۲-۵): به ترتیب از راست استنت های اس هفت، ان آی آر، پالماز-سچاتز ۲۴
شکل (۲-۶): $\frac{1}{4}$ مدل استنت پالماز-سچاتز ۲۶
شکل (۲-۷): استفاده از یک واحد استنت پالماز-سچاتز ۲۶
شکل (۲-۸): نمودار بارگذاری فشار داخلی در دو حالت ۲۹
شکل (۲-۹): مدل رگ گرفته شده ۳۳
شکل (۳-۱): استنت طراحی شده در نمای سه بعدی ۴۹
شکل (۳-۲): مشخصات هندسی استنت مدل شده ۴۰
شکل (۳-۳): نمودار تنش کرنش ماده مومسان-کشسان دو خطی ۴۱
شکل (۳-۴): نمودار اعمال فشار ۴۲
شکل (۳-۵): استنت شبکه بندی شده قبل از اعمال فشار ۴۳
شکل (۳-۶): مدل شبکه بندی شده بالون-استنت قبل از اعمال فشار ۴۵
شکل (۳-۷): رگ گرفته شده ۴۸
شکل (۳-۸): نمودارهای آزمایشات انجام شده برای بدست آوردن ضرایب مونی-رولین مرتبه سوم به منظور مدل کردن رگ و پلاک مسدود کننده ۵۰
شکل (۳-۹): مدل شبکه بندی شده بالون-استنت-رگ به همراه پلاک مسدود کننده ۵۱
شکل (۴-۱): توزیع تنش در استنت منبسط شده توسط اعمال فشار ۵۵
شکل (۴-۲): چگونگی توزیع تنش در اطراف پل های ارتباطی در میانه استنت در مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۵۶
شکل (۴-۳): نمودار تغییرات قطر خارجی استنت نسبت به فشار در مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۵۷
شکل (۴-۴): نمودار تغییرات نتایج بدست آمده در ارتباط با قطر استنت برحسب تعداد اجزای تعریف شده بر روی مدل ۵۹
شکل (۴-۵): خطای تغییر شکل (٪) بر حسب تغییرات تعداد اجزا تعریف شده بر روی مدل ۵۹
شکل (۴-۶): نمودار تغییرا ت قطر بر حسب فشار ۶۱

شکل (۴-۷): نمودار تغییرات درصد کاهش طول استنت بر حسب فشار در مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۶۲
شکل (۴-۸):. مقایسه تغییرات قطر در میانه و در دو انتها بر حسب فشار در مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۶۳
شکل (۴-۹): تغییرات میزان خمش در دو انتها استنت بر حسب فشار در مدل استنت تک تحت فشار داخلی ۶۴
شکل (۴-۱۰): توزیع تنش در مدل بالون-استنت منبسط شده توسط اعمال فشار. ۶۵
شکل (۴-۱۱): چگونگی توزیع تنش در اطراف پل ارتباطی مدل بالون-استنت ۶۶
شکل (۴-۱۲): نمودار تغییرات قطر خارجی استنت نسبت به فشار در مدل بالون-استنت. ۶۷
شکل (۴-۱۳): نمودار تغییرات درصد کاهش طول استنت بر حسب فشار در مدل بالون-استنت ۶۹
شکل (۴-۱۴): مقایسه تغییرات قطر در میانه و در دو انتها بر حسب فشار در مدل بالون-استنت ۷۰
شکل (۴-۱۵): تغییرات میزان خمش در دو انتها استنت بر حسب فشار در مدل بالون-استنت ۷۱
شکل (۴-۱۶): مدل استنت-رگ و پلاک مسدود شده پس از اعمال بار ۷۲
شکل (۴-۱۷): چگونگی توزیع تنش بر روی استنت در مدل بالون-استنت-رگ ۷۳
شکل (۴-۱۸): نمای جانبی از استنت پس از اعمال فشار داخلی در مدل بالون-استنت-رگ ۷۳
شکل (۴-۱۹): چگونگی توزیع تنش بر روی رگ در مدل بالون-استنت-رگ. ۷۴
شکل (۴-۲۰): نمودار توزیع تنش وان مایسز در راستای ضخامت رگ در نقطه بحرانی در مدل بالون-استنت-رگ ۷۵
شکل (۴-۲۱): نمودار تغییرات قطر استنت در دو نقطه A و B در مدل بالون-استنت-رگ ۷۶
شکل (۴-۲۲): نمودار تغییرات درصد کاهش طول استنت در برابر فشار در مدل بالون-استنت-رگ ۷۷
شکل (۴-۲۳): مقایسه تغییرات قطر در نقطه B و در دو انتها بر حسب فشار در مدل بالون-استنت-رگ. ۷۸
شکل (۴-۲۴): تغییرات میزان خمش در دو انتها استنت بر حسب فشار در مدل بالون-استنت-رگ ۷۹
شکل (۴-۲۵): شکل هندسی استنت ها پس از انبساط از نمای جانبی ۸۲
شکل (۴-۲۶): نمودار تغییرات قطر استنت ها بر حسب فشار ۸۴
شکل (۴-۲۷): نمودار تغییرات درصد کاهش طول استنت ها بر حسب فشار ۸۶
شکل (۴-۲۸): نمودار تغییرات میزان خمش در دو انتهای استنت ها بر حسب فشار ۸۷

فهرست جداول

جدول (۳-۱): مشخصات هندسی استنت ۴۰
جدول (۳-۲): ضرایب تابع انرژی مونی-ریولین مرتبه سوم برای مدل رگ و پلاک مسدود کننده ۵۰
جدول (۴-۱): مقایسه نتایج بدست آمده در کارهای مختلف ۶۸
جدول (۴-۲): تنش حداکثر ایجاد شده بر روی استنت ها ۸۳
جدول (۴-۳): قطر حداکثر استنت ها پس از انبساط ۸۵
جدول (۴-۴): درصد کاهش طول استنت ها ۸۶
جدول (۴-۵): میزان خمش در دو انتها ۸۷

لیست نمادها و اختصارات

تابع چگالی انرژی کرنشی $\left(J/m^3\right)$	W
تغییر ناپذیر های تانسور کرنش	$I_1، I_2، I_3$
تنش (MPa)	σ
ثابت های تابع چگالی مدل مونی-ریولین مرتبه اول (MPa)	C_{01}, C_{10}
ثابت های تابع چگالی مدل مونی-ریولین مرتبه سوم (MPa)	$a_{10}, a_{01}, a_{20}, a_{11}, a_{30}$
ثابت های تابع چگالی مدل های هایپرالاستیک (MPa)	a_{ijk}
ثانیه	S
چگالی $\left(Kg/m^3\right)$	d
ضرایب کشیدگی مواد در سه راستای اصلی	$\lambda_1 ، \lambda_2 ، \lambda_3$
طول استنت (mm)	L
طول اولیه استنت (mm)	L_0
کرنش	ε
کیلو پاسکال	KPa
کیلوگرم	kg
گیگا پاسکال	GPa
مگا پاسکال	MPa
میکرومتر	μm
میلیمتر	mm
میلیمتر جیوه	$mmHg$

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه، علوم پزشکی به پیشرفت های قابل توجهی در درمان بیماری های مختلف دست یافته است که یکی از دلایل انکار ناپذیر آن، ورود تخصصی علوم مهندسی به حیطه دانش پزشکی می باشد تا آنجا که تقریباً می توان گفت که هیچ جنبه ای از علم پزشکی وجود ندارد که به نوعی وابسته به دستاوردهای مهندسی نباشد. این همکاری و تاثیر مثبت از ابتدا و از قرن های پیش در حیطه پزشکی صورت پذیرفته است اما در ۵۰ سال اخیر نقش آن پر رنگ تر و قابل درک گردیده است. پیچیدگی رو به افزایش تکنولوژی پزشکی، تقاضا را برای برقرار کردن ارتباطی مناسب بین پزشکی بالینی و تحلیل های مهندسی افزایش داده است. البته باید این مطلب را قید کرد که شرط اولیه برای پرداختن به چنین مسائلی دانستن و درک مبانی اولیه مسائل پزشکی، حداقل در حد آشنایی، می باشد. بنابراین هدف استفاده از علوم مهندسی در مسائل پزشکی، احاطه نسبی در هر دو زمینه مسائل پزشکی و مهندسی است که می تواند دستاوردهای امید بخشی را در آینده برای بهبود شرایط زندگی بشر فراهم آورد [۱]. همانطور که گفته شد، محققان در این زمینه، بایستی قابلیت تعریف یک مسئله پزشکی را با تعبیر مهندسی داشته باشند و بتوانند راه حل مناسب هم برای احتیاجات مهندسی و هم پزشکی پیدا کنند. شاخه هایی از علوم مهندسی که می توانند به این موضوع بپردازند، گوناگون و گسترده هستند به طوری که مرز مشخصی را نمی توان برای آن ها قائل شد اما می توان از مهندسی مکانیک در تمامی گرایشات، مهندسی برق و الکترونیک، مهندسی مواد و غیره ... نام برد که این نشان از گسترده بودن مطالب درگیر با این زمینه می باشد [۲].

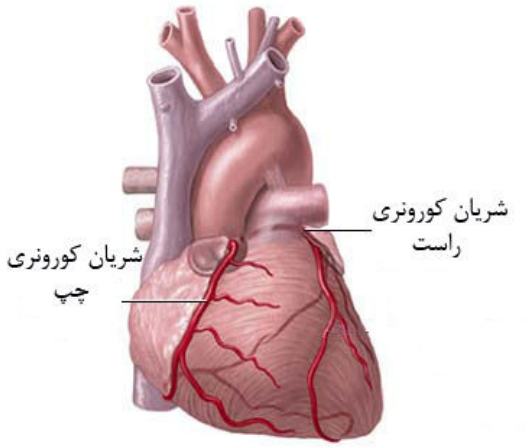
هدف از این پایان نامه مدل کردن رفتار مکانیکی استنت[1] شریانی توسط تحلیل اجزای محدود[2] می باشد که بنا بر آنچه که گفته شد، این امر حالتی از استفاده تحلیل های مهندسی در کاربردهای پزشکی است. در اینجا ضروری به نظر می رسد تا با ارائه توضیحاتی در ارتباط با انسداد شریان خون رسانی به قلب و

[1] Stent
[2] Finite Element Method (FEM)

عمل استنت گذاری به منظور معالجه آن، مخاطبان را بهتر در جریان مطالب ارائه شده در این پایان نامه قرار داد.

۱-۲- مقدمه ای در مورد بیماری انسداد شریان خون رسانی به قلب و عمل استنت گذاری

قلب یک ارگان ماهیچه ای در بدن است که وظیفه آن پمپاژ خون به سراسر بدن می باشد و قلب انسان این کار را به طور متوسط ۷۲ بار در دقیقه انجام می دهد. همانند تمامی اندام های زنده بدن، قلب نیز برای ادامه عملکرد خود، احتیاج به اکسیژن و مواد غذایی لازم دارد و این عمل با خون رسانی به ماهیچه های آن توسط شریان های کورونری[1] صورت می پذیرد (شکل (۱-۱)). بنابراین، می توان چنین نتیجه گرفت که شریان های کورونری قلب، خطوط سوخت رسانی به ماهیچه های این اندام حیاتی می باشند [۳].

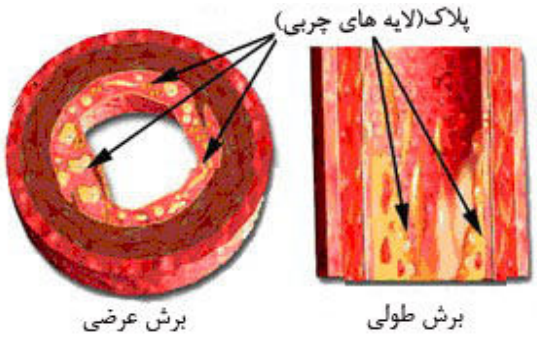


شکل (۱-۱): تصویری از شریان های کورونری بر روی قلب [۳].

اگر این عمل خون رسانی به ماهیچه های قلب به هر دلیلی متوقف شود، فرد احساس درد و ناراحتی در قفسه سینه خود می کند و به اصطلاح دچار حمله قلبی می گردد. یکی از موارد بسیار رایج در

[1] Coronary arteries

متوقف ساختن این عمل خون رسانی، مسئله انسداد شریان کورونری به علت تشکیل شدن رسوباتی بـه نـام پلاک در مسیر خود می باشد. به طور کلی سطح داخلی رگ، سطحی صاف و بدون هیچ گونه مانعی در برابر جریان عادی خون است. اما با گذشت زمان و بویژه بالا رفتن سن، ذرات چربی همچون کلسترول به صـورت رگه هایی از چربی بر روی سطح داخلی رگ تشکیل می شوند. این رسوبات تشکیل شده در ابتدا تـاثیری بـر روی عمل خون رسانی ندارند و اغلب بدون علائم بیماری در فرد در جای خود ثابت می مانند. اما در برخی از افراد، با گذشت زمان، حجم این لایه مزاحم با رسوب لایه های چربی دیگر بر روی آن، رو بـه افـزایش مـی گذارد. به طوریکه از یک مرحله به بعد، بر روی جریان طبیعی خون تاثیر می گذارند. شکل (۱-۲) نمـایی از برش یک رگ را که در جداره داخلی آن پلاک تشکیل شده است نشان می دهد. به این حجم مزاحم تشکیل شده در سطح داخلی رگ، پلاک مسدود کننده گفته می شود [۴].



شکل (۱-۲): تصویری از یک رگ به همراه پلاک مسدود کننده [۴].

عوامل مختلفی در تشکیل شدن پلاک ها تاثیر دارند. از مهمترین این عوامل می توان موارد زیر را بر شمرد [۴]:

- بالا بودن سطح کلسترول و چربی های مضر خون
- فشار خون
- دیابت
- استعمال دخانیات

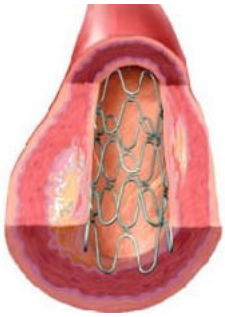
- سابقه چنین بیماری در دیگر اعضای خانواده
- جنس مرد، سن بالای ۵۰، عدم تحرک و ورزش، وجود استرس و تنش بالا در زندگی روزمره

تخمین زده می شود که در حدود ۱/۳ افراد بالغ در کشور آمریکا دارای چنین رسوباتی در داخل شریان های کورونری قلب خود می باشند. اما در همه موارد این امر موجب بروز مشکل نمی شود. زمانی این رسوبات ایجاد مشکل می کنند که موجب شوند قطر شریان کورونری به میزان بیش از ۵۰ ٪ کاهش یابد. در چنین زمانی است که اغلب افراد احساس درد و ناراحتی در قفسه سینه خود می کنند و این امر به دلیل نرسیدن اکسیژن و مواد غذایی کافی به ماهیچه های قلب می باشد. در پاسخ به این کاهش خون رسانی به ماهیچه های قلب، خود این ارگان نیز با افزایش نرخ ضربان خود و بالا بردن فشار خون واکنش نشان می دهد که این امر به همراه درد قفسه سینه می تواند یکی از نشانه های انسداد شریان کورونری قلب باشد [۴].

حال پس از آشنا شدن با بیماری انسداد شریان کورونری قلب، به بررسی روش های درمان آن می پردازیم. یکی از روش های رایج در چند دهه اخیر، عمل جراحی باز قلب به منظور ایجاد کردن یک مسیر انحرافی برای رگ[1] بوده است. در این روش بوسیله یک مسیر فرعی دو طرف رگ مسدود شده را به یکدیگر مرتبط می کنند و در نتیجه قسمت مسدود شده از مدار حذف می گردد. هر چند که این روش جان بیماران بسیاری را نجات داده است اما علاوه بر سختی، این عمل دارای خطر ریسک پذیری بالایی بوده و طول مدت درمان نیز نسبتاً طولانی بوده است. اما در مقابل، روش دیگری که در سال های اخیر، بویژه در ۱۰ سال اخیر، بسیار رونق یافته و رایج شده است، استفاده از وسیله ای به نام استنت می باشد [۵]. استنت، یک لوله مش بندی شده فلزی سیمی است که به منظور باز نگه داشتن مسیر خون رسانی شریان در نقطه مسدود شده مورد استفاده قرار می گیرد (شکل (۱-۳)). طرز عملکرد آن بدین شرح است که طی یک روش غیر جراحی، پزشک استنت مورد نظر را در حالیکه قطری کوچک دارد از طریق آئورت ران وارد بدن کرده و آن را به نقطه مورد نظر در شریان کورونری قلب می رساند. پس از آن طی یک روش خاص استنت در راستای قطر منبسط می شود و علاوه بر فشار آوردن بر سطح داخلی پلاک مسدود کننده و باز کردن مسیر جریان خون، در جای

[1] Bypass angioplasty

خود ثابت می گردد. در واقع استنت نقش یک چارچوب یا داربست را برای باز نگه داشتن مسیر خون رسانی ایفا می کند. استنت مورد نظر در سر جای خود به طور دائم باقی می ماند [۵].



شکل (۱-۳): نمایی از یک استنت کار گذاری شده در داخل شریان [۵].

از لحاظ تاریخی به طور روشن مشخص نمی باشد که کلمه استنت از کجا آمده است و یا اینکه ایده آن دقیقاً به چه کسی بر می گردد و در این مورد روایت های متفاوتی وجود دارد. اما آنچه که مسلم است آن است که در سال ۱۹۶۹ دکتر چارلز تئودور دوتز[1] برای اولین بار یک استنت را، به معنی آنچه که امروز از آن می شناسیم، بر روی قلب یک سگ مورد آزمایش قرار داد. این موفقیت به مدت ۱۵ سال در جامعه پزشکی آمریکا مورد توجه قرار نگرفت تا اینکه سرانجام در حدود سال ۱۹۸۶ به طور جدی به توسعه این روش درمانی پرداخته شد و از آن به بعد روند رو به رشد و تکاملی خود را طی کرده است [۶]، به طوریکه آمارها نشان از موفقیت این روش در سال های اخیر در بسیاری از کشورها می دهند. آمارها نشان می دهند که بیش از ۷۰ ٪ مسائل مرتبط به عمل قلب مربوط به عمل استنت گذاری می شوند و این نشان از رواج چنین روشی در جوامع پزشکی حال حاضر دنیا دارد [۶، ۷].

البته آنچه که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که با اثبات کارایی استفاده از وسیله ای همچون استنت، تمایل به استفاده از چنین ابزاری برای معالجه بیماری های دیگر نیز بوجود آمده است به طوریکه در سال های اخیر نه تنها استنت برای درمان بیماری انسداد شریان کورونری قلب مورد استفاده قرار گرفته بلکه در اندام های دیگری همچون مری، روده بزرگ، روده کوچک و مانند آن ها نیز کاربردهای خود را

[1] Dr. Charles Theodore Dotter

پیدا کرده است. جالب است بدانیم که این عوامل و رقابتی که در بدست آوردن بـازار فـروش جهـانی وجـود داشته است، موجب گردیده تا تعداد استنت های طراحی شده در جهان به بیش از ۱۰۰ مدل مختلف برسـد [۸]. اما تمامی این استنت ها برای یک هدف طراحی شده اند که همانا باز کردن مسیرهای مسدود شـده در داخل مجاری بدن می باشند. تخمین زده می شود که درآمد حاصل از فروش انواع استنت ها در سراسر دنیا بالغ بر ۳ میلیارد دلار باشد. در فصل های آینده به طور تخصصی در مورد ساختار استنت ها، انواع مختلـف و کارکردهای آن ها صحبت خواهیم کرد [۸].

نکته قابل ذکر در اینجا آن است که عمل استنت گذاری در داخل شریان خون رسانی قلب خـالی از ریسک نیست و به نوبه خود می تواند عمل پیچیده و تا حدودی خطرناک باشد. استنت مورد نظر مـی توانـد در حین انبساط خود به جداره رگ آسیب برساند و یا اینکه خطر این وجود دارد که اسـتنت در جـای خـود ثابت نشده و پس از مدتی در اثر فشار جریان خون از جای خود حرکت کند. بنابراین لازم است تا استنت ها از لحاظ رفتار مکانیکی در حین عمل جاگذاری مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرند. در سال های قبل محققان بوسیله ابزار های آزمایشگاهی و حل مسائل تئوری این مطالعات را انجام می دادند. این طرز مطالعه بـر روی کارکرد استنت علاوه بر اینکه امری دشوار و پیچیده به نظر می رسد، به طور کامل توانایی نشان دادن برخی مسائل همچون برهمکنش بین سطوح استنت با رگ و پلاک را ندارد. در سال های اخیر بـا وجـود پیـشرفت های زیادی که در زمینه شبیه سازی رایانه ای صورت پذیرفتـه، تمایـل محققـان بـرای مـدل کـردن رفتـار مکانیکی استنت ها بوسیله نرم افزارهای رایانه ای بیشتر شده است. به طوریکه در سال هـای اخیـر کارهـای جالب توجهی در این زمینه صورت پذیرفته است. استفاده از شبیه سازی های رایانـه ای همچـون نـرم افـزار های تحلیل اجزای محدود موجب می شود تا علاوه بر درک بهتر از چگونگی رفتار مکانیکی استنت و عوامـل موثر بر آن، هزینه های طراحی و آزمایش استنت ها تا حد قابل توجهی کاهش یابد. هدف ما نیز از این پایان نامه شبیه سازی رفتار مکانیکی استنت توسط تحلیل اجزای محدود می باشد. البته باید به ایـن نکتـه اشـاره کرد که این روش تنها روش مطالعه مسائل مرتبط با استنت نبوده و مسائل دیگری هم می تواند در رابطه بـا آن مطرح شود. بنابراین، در اینجا لازم می باشد تا توضیح مختصری در مورد روش ها و دیدگاه های موجـود