طراحی و ساخت یک دستگاه تورنیکت اتوماتیک دیجیتال دوگانه ـ تکی قابل استفاده در روش بلوک بیر جراحی اندام فوقانی و تحتانی

عزیزاله وکیلی[۱]، علی محمد شفیعی سروستانی[۲]، حسین پارسایی[۳]، معصومه رسایی[۴]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران vakilyazizallah@gmail.com
[۳] استادیار بخش فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران hparsaei@sums.ac.ir
[۴] متخصص داخلی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران rasaeim@sums.ac.ir

چکیده - در این مقاله جزئیات طراحی و ساخت یک تورنیکت دیجیتال دوبل (تورنیکت با کاف دوگانه) برای استفاده در در جراحی‌های کوتاه و اورتوپدی و اجرای روش بلوک بیر ارائه شده است. دستگاه دارای پنج قسمت اساسی است: ۱) کاف دوبل؛ ۲) صفحه و پنل ارتباط با کاربر جهت نمایش فشار و زمان اعمال کاف، آلارمها و خاموش و روشن کردن دستگاه؛ ۳) بردهای الکترونیکی و کنترلی شامل میکرو پمپ ویژه تورنیکت، برد کنترل کننده فشار درون کاف (فشار بالا یا پایین)، برد الکترونیکی کنترل زمان اعمال فشار و تعویض کاف، شیرهای کنترل و تخلیه، سنسورهای مربوطه. ۴) مدارات تغذیه که شامل برد الکترونیکی سوئیچینگ جهت تبدیل برق شهر به ولتاژ مورد نیاز و تثبیت ولتاژ خروجی را در محدوده تغییرات ولتاژ ورودی از ۲۰۰ تا ۲۴۰ ولت است. بعلاوه، مدارات تغذیه شامل باتری پشتیبان و مدارات مربوط به شارژ و کنترل شارژ باتری نیز می‌باشد. ۵) بدنه که در بر گیرنده بردهای الکترونیکی می‌باشد. کلیه مدارات مطابق با الزامات و استانداردهای تجهیزات پزشکی ساخته شده است. عملکرد و کارآیی دستگاه ساخته شده پس از تستهای اولیه و کنترل کیفی در آزمایشگاه ابزار دقیق پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز، درچندین بیمارستان وابسته به دانشگاه‌های علوم پزشکی شیراز، علوم پزشکی یاسوج و علوم پزشکی فسا بررسی شد. که خوشبختانه صحت عملکرد و کارایی این دستگاه مورد تأیید متخصصان بیهوشی قرار گرفته است.

کلید واژه- تجهیزات پزشکی، بیو اینسترومنت، تورنیکت، شریان بند ، روش بلوک بیر.

۱- مقدمه

تورنیکت یا شریان بند نام وسیله‌ای است که دور اندام بسته می‌شود تا مسیر جریان خون درون این اندام را بطور موقت مسدود کند [۱]. رومیان و یونانی‌ها نخستین کسانی بودند که از تورنیکت استفاده کردند. در واقع تورنیکت مورد استفاده آنها تنها مقداری پارچه و یک تکه چوب بود که برای جلوگیری از خونریزی و هنگام قطع کردن یک عضو از آن بهره می‌بردند [۲]. در طول زمان، تلاش‌های بسیاری برای بهبود کارایی تورنیکت انجام شد. به عنوان مثال مکانیزم پیچ و تسمه در سال ۱۷۱۸ توسط یک جراح فرانسوی مورد استفاده قرار گرفت، او این وسیله را تورنیکت نامید، از ریشه فرانسوی tourner به معنی چرخیدن [۳]. شکل ظاهری و نحوه استفاده از تورنیکت با گذشت زمان تغییرات بسیاری کرد اما اصول پایه‌ای و کاربرد آن همچنان ثابت است

امروزه تورنیکت به یک عضو جدایی ناپذیر بسیاری از اعمال جراحی تبدیل شده است. در اطاق عمل و برای بعضی اعمال جراحی ارتوپدی از نوعی تورنیکت بادی استفاده می‌گردد که آن را مانند بازوبند به دور بازو یا ران بسته و با باد کردن آن، از رسیدن جریان خون به انتهای اندام به‌طور موقت پیشگیری می‌شود. به این ترتیب جراح می‌تواند بدون وجود مشکل خونریزی عمل جراحی را انجام دهد [۴]-[۸]. از دیگر کاربردهای مهم این دستگاه در تکنیک بی حس نمودن عضو جهت انجام عمل جراحی است که این نوع بی حسی عضو، بلوک بیر نام دارد.

روش بلوک بیر [۹]، که نامگذاری آن به افتخار مخترع این روش، A.G.Bier، بوده است، یک روش متداول در اعمال جراحی کوتاه مدت می‌باشد. در این روش، که از تورنیکت با کاف دوگانه استفاده می‌شود، ابتدا خون را از اندام خارج کرده و سپس مقدار مشخصی از داروی بیحسی را در پایین تورنیکت بسته شده، در انتهای عضو، تزریق می‌نمایند. ترتیب باد کردن کاف‌ها و میزان فشار اعمالی در این روش بسیار مهم است. مزیت این روش سادگی و قابلیت اعتماد بالای آن است. علاوه بر آن، شروع بیحسی در این روش آنی است. در شکل ۳ مراحل اجرای روش بلوک بیر را ملاحظه می‌کنید.

به‌طور خلاصه از کاربردهای مهم تورنیکت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۰]:

۱. تمامی اعمال جراحی کوتاه مدت که بر روی اندام تحتانی

یا فوقانی انجام می‌شود.

۲. تکنیک بی حسی داخل وریدی.

۳. استفاده در مرکز فوریت‌های اورژانس برای جلوگیری از خونریزی‌های شدید ناشی از صدمات و پیشگیری از شوک (خونریزی، به عنوان یک نتیجه از آسیب، باعث اختلال در تعادل مایعات می‌شود که منجر به کاهش حجم خون و اختلال درخونرسانی بافت شده و شوک ایجاد می‌کند).

۴. در طب رزم، که قطع شدگی و پارگی عضو شایع است.

میزان موفقیت، در موارد و روش‌هایی که اجرای آنها مستلزم به کار بردن تورنیکت است، تا حدود زیادی به صحت عملکرد تورنیکت مورد استفاده بستگی دارد [۱۱]-[۱۷]. بعلاوه، استفاده نادرست از این وسیله ممکن است باعث صدمه دیدن بیمار شود. به‌عنوان مثال، اعمال تورنیکت برای مدت طولانی (بیشتر از ۱۲۰ دقیقه) آسیب عصبی و عضلانی به دنبال خواهد داشت [۱۱]. زمانی که استفاده طولانی مدت از تورنیکت مورد نیاز است، تخلیه هوای درون کاف پروگزیمال (کاف شماره ۱) بعد از مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه و باد کردن کاف دیستال (کاف شماره ۲) می‌تواند ایسکمی عصبی عضلانی را کاهش دهد [۱۸].

اعمال فشار بیش از حد به عضو ممکن است باعث آسیب دیدن شریانها، عصب‌های عضو و در نتیجه فلج شدن کلی و یا نسبی آن شود. بنابراین استفاده از تورنیکت های سنتی، که فشار و طول مدت اعمال آن به‌طور دستی کنترل می‌شود، به دلایل زیر ممکن است با خطر بالایی همراه باشد [۱۷]-[۱۹].

۱. در بسیاری از مواقع به علت نشتی تورنیکت، هوای آن خارج می‌شود بدون اینکه کاربر مطلع شود و باعث خونریزی در محل جراحی شده و جراح به سختی می‌تواند به ادامه عمل بپردازد. به علت فرسوده شدن گیج (gauge) اندازه گیری فشار، ممکن است این پارامتر به‌طور صحیح خوانده نشود.

۲. در این روش مدت زمان روشن و خاموش بودن پمپ تورنکیت باید توسط کاربر به صورت کاملاً دقیق کنترل گردد که امکان اشتباه در ثبت آن وجود دارد.

۳. اگر درهنگام استفاده از تورنیکت دوگانه در تکنیک بیر بلاک، حین بی حسی موضعی تور نیکت تخلیه شود، حجم بالایی دارو به بدن وارد شده و مریض دچار شوک و تشنج می‌شود.

۴. احتمال بالا رفتن فشار تورنیکت به علل مختلف و آسیب به عضو وجود دارد.

۵. جراح علاقه مند به کار در یک محیط (field) عاری از خون می‌باشد؛ بنابراین اگر در حین جراحی تورنیکت تخلیه شود، علاوه بر از دست رفتن حجم زیاد خون، عمل جراحی مختل می‌شود.

بنابراین، طراحی و ساخت تورنیکت دیجیتال اتوماتیک، که در آن پارامترهای حیاتی مانند فشار اعمالی و زمان خاموش و روشن بودن دستگاه به‌طور هوشمند کنترل شود، یک ضرورت است. از مزیت‌های دستگاه‌های دیجیتال و هوشمند این است که علاوه بر دارا بودن دقت، سرعت و تکرار پذیری بالا، کار با آنها نیز آسان است.

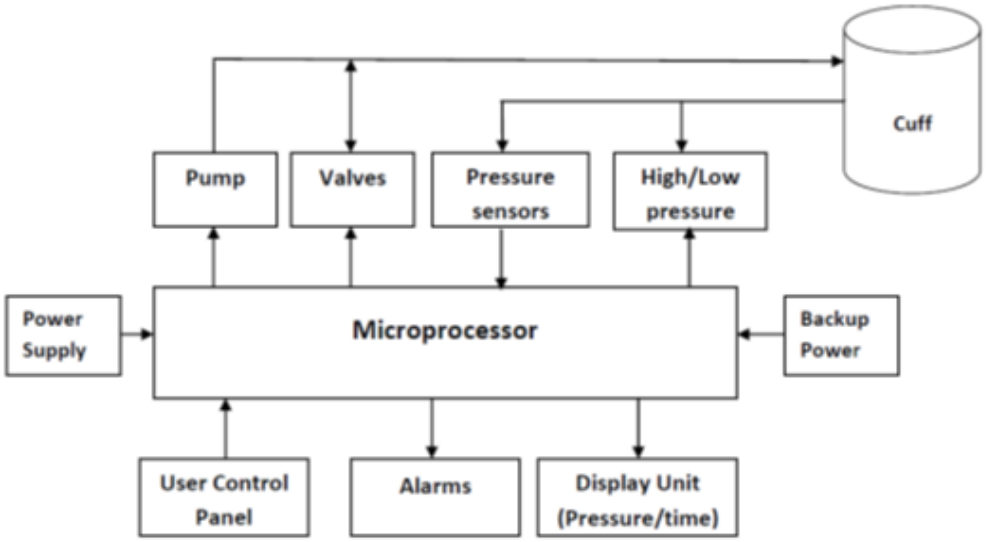
تحقیقات گوناگونی در زمینه طراحی و ساخت یک دستگاه تورنیکت هوشمند انجام شده است؛ نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۸۰ دکتر جیمز مک اون، یک تورنیکت الکترونیکی مدرن (کنترل شونده توسط میکرو کامپیوتر) اختراع کرد [۲]. از آن زمان به بعد این تورنیکت مبنای طراحی و تولید تورنیکت های هوشمند فراوانی شده است. این تورنیکت ها، نسبت به نمونه‌های مکانیکی قبلی خود ضریب اطمینان بالاتری داشته و استفاده از آنها بسیار ساده‌تر است [۲۰]-[۲۲].

هم اکنون مدلهای مختلفی از این دستگاه در بازار موجود است که می‌توان به دستگاه‌های مختلف شرکت‌های UZUMCU، VBM Medizin technik GmbH و TDSG International اشاره کرد. برخی از این دستگاه‌ها تمام اتوماتیک هستند به‌طوری که میزان فشار درون کاف نیز توسط خود دستگاه، با توجه به فشار خون شخص، تخمین زده می‌شود. برخی نیز نیمه اتوماتیک بوده و تنظیمات لازم می‌بایست توسط کاربر انجام شود [۴]، [۵] و [۲۲].

هرچند که دستگاه‌های تورنیکت گوناگونی، با قابلیت و کاربری‌های مختلف، در بازار کشور موجود است، این دستگاه‌ها داری مشکلات و نواقص متعددی هستند. از جمله این مشکلات می‌توان تخلیه سریع کاف در پایان استفاده که ممکن است منجر به مسمومیت بیمار به دارو شود. در این تحقیق، یک دستگاه تورنیکت هوشمند برای رفع مشکلات مذکور طراحی و ساخته شده است.

۲- طراحی و ساخت دستگاه

تورنیکت مورد نظر در این طرح، یک تورنیکت دوبل (تورنیکت با کاف دوگانه) برای اجرای روش بلوک بیر در جراحی‌های کوتاه و اورتوپدی است. بلوک دیاگرام دستگاه ساخته شده در شکل ۱ نشان داده شده است. دستگاه مورد نظر از دو میکرو پمپ ویژه تورنیکت، میکرو کنترلر، شیرهای کنترل و تخلیه، سنسورها و مدارهای ویژه تشخیص فشار بالا یا پایین درون کاف، آلارم ها و واحدهای نمایش است. در ابتدا پس از وارد



شکل ۱. بلوک دیاگرام دستگاه تورنیکت دیجیتال اتوماتیک ساخته شده.

نمودن میزان فشار خون بیمار توسط کاربر، دستگاه فشار لازم برای هر کاف را با استفاده از رابطه(۱۵۰ + فشارسیستولیک = فشار کاف) محاسبه می کند. که در این رابطه تمام مقادیر برحب میلی متر جیوه (mmHg) می باشند.

پس از نمایش فشار محاسبه شده و تأیید آن توسط کاربر، دستگاه جهت تأمین این فشار در کاف شروع به کار می‌کند. میکرو پمپ شرع به کار کرده و کاف مورد نظر به اصطلاح باد می‌کند، بعلاوه به‌طور همزمان فشار درون کاف توسط سنسورهای فشار و تقویت کننده‌های مربوطه اندازه گیری و نمایش داده می‌شود. زمانیکه فشار درون کاف به مقدار مورد نظر رسید، میکرو کنترلر پمپ را خاموش می‌کند. در طول عمل جراحی نیز فشار درون کاف به‌صورت مداوم کنترل و نمایش داده می‌شود بطوریکه میزان خطای بین فشار درون کاف و فشار تعیین شده توسط کاربر حداکثر ۲٪ مقدار تعیین شده باشد. این کار توسط برنامه نرم افزاری نوشته شده و با استفاده از سیستم کنترل on/Off انجام می‌شود. بعلاوه، در صورتی که فشار به هر علتی بالا رود که برای بیمار خطر آفرین باشد، دستگاه با به صدا درآوردن آلارم هوای درون کاف را نیز توسط شیر ایمنی تخلیه می‌کند.

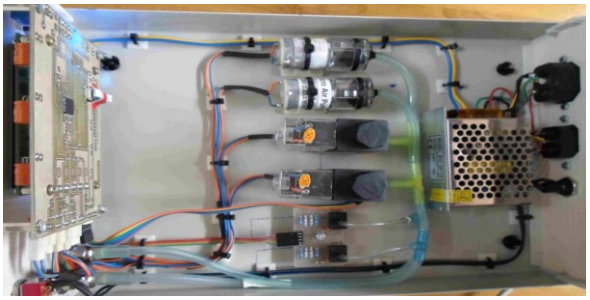
ولتاژ لازم برای مدارات الکترونیکی توسط یک مدار منبع تغذیه که مطابق با استانداردهای IEC ۶۰۶۰۱ طراحی می‌شود تعیین می‌شود. این برد الکترونیکی از نوع سوئیچینگ بوده و قابلیت تثبیت ولتاژ خروجی را در محدوده تغییرات ولتاژ ورودی از ۲۰۰ تا ۲۴۰ ولت را دارا می‌باشد. در شکل ۲ نمایی از برد منبع تغذیه نشان داده شده است.

بعلاوه، برای جلوگیری از ایجاد خلل در کارکرد دستگاه به دلیل قطع برق یک باطری نیز برای دستگاه تعبیه شده است. شارژ دستگاه توسط مدارات الکترونیکی تعبیه شده کنترل می‌شود. در شکلهای ۳ و ۴ نمایی از دستگاه ساخته شده نشان داده شده است.

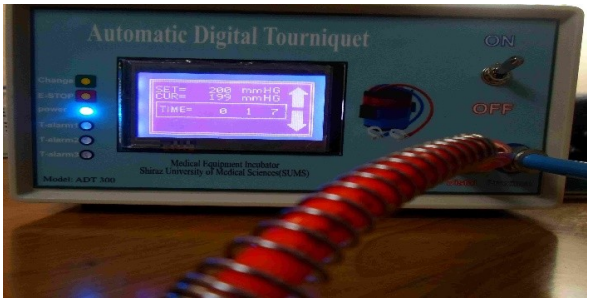
شکل ۲. نمایی از منبع تغذیه طراحی شده برای دستگاه

۳- نتایج تست دستگاه

عملکرد و کارآیی نمونه آزمایشگاهی دستگاه دیجیتال اتوماتیک ساخته شده به‌صورت کمی و کیفی مطابق زیر انجام شد. ابتدا تستهای اولیه و کنترل کیفی مطابق با دستورالعمل IPM 443-0595 در آزمایشگاه ابزار دقیق پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز انجام شد. مطابق با این دستورالعمل حداکثر خطای نمایشگر فشار کاف و تایمر (نشان دهنده زمان سپری شده) می‌بایست به ترتیب ۵٪ و ۲ دقیقه باشد. که نتایج تست و ارزیابی دستگاه ساخته شده نشان داد که حداکثر خطای نمایشگر فشار کاف ۴٪ است که این خطا برای



شکل ۳. نمایی از مدارات الکترونیکی، میکروپمپ ها و شیر برقیهای دستگاه



شکل ۴. نمایی از دستگاه تورنیکت دوبل ساخته شده

حالتی بود که دستگاه در فشار ۳۵۰mmHg تنظیم شده است. همچنین حداکثر خطای تایمر دستگاه نیز ۳۰ ثانیه است.

پایداری کنترلر دستگاه در تنظیم فشار کاف و همچنین ثابت نگه داشتن فشار کاف نیز مطابق با دستور العمل مذکور بررسی شد. بر اساس این دستور العمل افت فشار کاف پس از ۱۵ دقیقه باید کمتر از ۱۰mmHg باشد، با توجه به نتایج به دست آمده فشار کاف برای فشارهای کمتر از ۳۰۰ mmHg کمتر از ۵mmHg بود.

علاوه بر آزمون کنترل کیفی، دستگاه به‌صورت بالینی نیز آزمایش شد. پس از اطمینان از صحت عملکرد دستگاه و انتطباق محدوده پارامترهای دستگاه با موارد ذکر شده در دستورالعمل IPM 443-0595، کارآیی دستگاه در بیمارستان چمران وابسته به دانشگاه علوم پزشکی شیراز و بیمارستان یاسوج وابسته به دانشگاه علوم پزشکی یاسوج نیز بررسی شد. که عملکرد و کارایی این دستگاه مورد تأیید متخصصان بیهوشی قرار گرفته است.

۴- بحث و نتیجه گیری

استفاده از تورنیکت های دستی خالی از ریسک نیست و علاوه بر کارایی محدود این دستگاه‌ها ممکن است باعث آسیبهایی به بیمار شوند. بنابراین طراحی و ساخت تورنیکت دیجیتال اتوماتیک، که در آن پارامترهای حیاتی مانند فشار اعمالی و زمان خاموش و روشن بودن دستگاه به‌طور هوشمند کنترل شود، یک ضرورت است. از مزیت‌های دستگاه‌های دیجیتال و هوشمند این است که علاوه بر دارا بودن دقت، سرعت و تکرار پذیری بالا، کار با آنها نیز آسان است.

در این مقاله جزئیات طراحی و ساخت یک دستگاه تورنیکت اتوماتیک تورنیکت دیجیتال دوبل (تورنیکت با کاف دوگانه) برای استفاده در در جراحی‌های کوتاه و اورتوپدی و اجرای روش بلوک بئر ارائه شده است. دستگاه دارای پنج قسمت اساسی است: ۱) کاف دوبل؛ ۲) صفحه و پنل ارتباط با کاربر جهت نمایش فشار و زمان اعمال کاف، آلارمها و خاموش و روشن کردن دستگاه؛ ۳) بردهای الکترونیکی و کنترلی شامل میکرو پمپ ویژه تورنیکت، برد کنترل کننده فشار درون کاف (فشار بالا یا پایین)، برد الکترونیکی کنترل زمان اعمال فشار و تعویض کاف، شیرهای کنترل و تخلیه، سنسورهای مربوطه. ۴) مدارات تغذیه که شامل برد الکترونیکی سوئیچینگ جهت تبدیل برق شهر به ولتاژ مورد نیاز و تثبیت ولتاژ خروجی را در محدوده تغییرات ولتاژ ورودی از ۲۰۰ تا ۲۴۰ ولت است. بعلاوه، مدارات تغذیه شامل باتری پشتیبان و مدارات مربوط به شارژ و کنترل شارژ باتری نیز می‌باشد. ۵) بدنه که در بر گیرنده بردهای الکترونیکی می‌باشد.

نتایج ارزیابی کنترل دستگاه رضایت بخش بوده و بیشتر پارامترهای دستگاه در محدوده تعیین شده در دستور العمل کنترل کیفی دستگاه تورنیکت (دستورالعمل IPM 443-0595) می‌باشد. نتایج آزمون بالینی دستگاه نیز رضایت بخش بوده و متخصصان و کابران رضایت نسبی از عملکرد دستگاه داشته‌اند. با توجه به بازخورد (فید بک) این افراد موارد متمایز دستگاه نسبت به نمونه‌های مشابه موجود عبارتند از:

۱. دستگاه تورنیکت دوگانه وتکی، سیستمی هوشمند، خودکار ودیجیتال می‌باشد
۲. دستگاه تورنیکت دوگانه وتکی، قابل استفاده هم با کاف تکی (Single) وهم با کاف دوگانه (Double) می‌باشد. کاف تکی (Single) در عمل جراحی بر روی اندام که بیمار بیهوشی عمومی دریافت کرده است و کاف دوگانه (Double) در مواردی که از روش بی حسی موضعی (بلوک بیرز) استفاده شده است کاربرد دارد.
۳. تمامی مراحل پمپ به‌وسیله میکروپمپهای پزشکی و تخلیه کاف به وسیله شیرهای دیجیتال به صورت خودکار انجام می‌شود.

۴. فشار کاف تورنیکت قابل تنظیم وتحت کنترل است. دستگاه تورنیکت دوگانه ـ تکی، فشار اعمالی را با توجه به فشار خون بیمار و طبق پروتکل‌های استاندارد کتابهای مرجع بیهوشی تنظیم می‌کند.

۵. سنسور فشار دستگاه به‌صورت مداوم فشار را تشخیص می‌دهد با فشار خواسته شده توسط کاربر مقایسه می‌کند و طبق الگوریتم برنامه ریزی شده فشار مطلوب را تنظیم می‌کند.

۶. فشار مورد نظر قابل کنترل است و در صورت کاهش و یا افزایش فشار بیش از حد مورد انتظار به طور خودکار تشخیص می‌دهد، فشار را تصحیح می‌کند وبه حد فشار تنظیم شده می‌رساند.

۷. دستگاه دارای زمان سنج جهت آگاهی کاربر از، مدت زمان باد بودن کاف‌ها می‌باشد. مدت زمان فشاراعمال شده توسط دستگاه به‌طور خودکار انجام می‌شود. و به‌طور خودکار ومتناوب فشار اعمالی طی مدت زمان تنظیم شده بین دو کاف دیستال و پروگزیمال قابل تغییر می‌باشد. دستگاه تورنیکت دوگانه، پس از ۳۰ دقیقه از گذشت زمان مطلوب انتخاب شده توسط کاربر، جای دو تورنیکت را در بلوک بیرز را به‌طور خودکار تغییر می‌دهد.

۸. در اعمال جراحی ارتوپدی بر روی اندام تحتانی و فوقانی در پایان عمل جهت جلوگیری از اسیدوز و کاهش ناگهانی فشارخون دستگاه به‌طور آهسته طی ۳ مرحله جهت ورود آهسته خون به عروق اندام تحت جراحی، تورنیکت را خاموش ـ روشن (on/off) می‌کند.

۹. شیرهای بکار رفته در این دستگاه Normal Close می‌باشند که در صورت خراب شدن دستگاه مانع از تخلیه تورنیکتها می‌شود.

۱۰. کلید لمسی مورد استفاده جهت تغییر حالت بالا و پایین آوردن فشار تورنیکت حین عمل جراحی در صفحه مانیتورینگ تعبیه شده است که استفاده از صفحه لمسی برای تنظیمات دستگاه، کارکردن با دستگاه را تسهیل کرده است.

۱۱. میکرو پمپ تعبیه شده در دستگاه از نوع میکرو پمپ پزشکی است وحداکثر فشاری که می‌تواند تولید کند ۷۶۰ میلی متر جیوه معادل با یک bar می‌باشد. در صورت خرابی دستگاه هیچ گاه فشار بیش از حد نمی‌تواند تولید کند.

۱۲. دستگاه دارای کلید جابجایی (Change) کاف ۱ (پروگزیمال) وکاف ۲ (دیستال) در تورنیکت دوگانه به‌طور دستی در حین عمل جراحی در مواقع لزوم می‌باشد.

۱۳. دستگاه دارای دکمه‌ای جهت تخلیه زودتر از هنگام کاف تورنیکت در مواقع مورد نیاز می‌باشد.

۱۴. دستگاه دارای هشدار دهنده صوتی و تصویری (LED) می‌باشد که در روش بلوک بیرز پس از هر نیم ساعت، کاربر را از مدت باقی مانده عمل جراحی آگاه می‌کند.

۱۵. در روش بلوک بیرز در انتهای عمل جراحی دستگاه تورنیکت دوگانه ـ تکی، در ۵ مرحله طی ۸ دقیقه به‌طور متناوب شروع به تخلیه باد تورنیکتها جهت جلوگیری از مسمومیت دارویی می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از متخصصان جراحی و بیهوشی بیمارستان چمران شیراز به‌ویژه آقایان دکتر فربود، دکتر هادوی، دکتر امامی و از متخصصان بیهوشی و جراحی بیمارستان یاسوج آقایان دکتر افشین منصوریان و دکتر مهدی جعفری و دکتر حسین هجروخانم دکتر زینب علیزاده و همچنین از آقایان دکتر سیاوش مرادی و دکترعلی حسینی پور و خانم دکتر صدیقه احمدی متخصصان بیهوشی دانشگاه علوم پزشکی فسا جهت همکاری صمیمانه در تست کلینیکی دستگاه ساخته شده و از شرکت پرشیا آزما جهت همکاری در کنترل کیفی دستگاه تشکر و قدر دانی کنند.

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی شیراز انجام شده است.

مراجع

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Tourniquet
[2] http://www.tourniquets.org/tourniquet_overview.php
[3] L. Klenerma " The tourniquet manual, principles and practice." Springer,2003.
[4] L. Klenerma, The tourniquet in surgery. J Bone Joint Surg Br. 1962 Nov;44,:937–943.
[5] P. Brantley P. Pneumatic tourniquets in the O.R. ONA J. 1977 Jun;4(6):172–173.
[6] D. Dorsch, The pneumatic tourniquet in the O.R. ONA J. 1976 Apr;3(4):127–128.
[7] Jai Prakash Sharma, Rashmi Salhotra Tourniquets in orthopedic surgery. Indian J Orthop. 2012 Jul-Aug; 46(4): 377–383.
[8] W.O.Templeton, J. Feher, and P. Davey, The Use of the S-MART Tourniquet in Hand Surgery: A Safe and Effective Way to Provide a Bloodless Field, Surgery Research and Practice. 2014, Volume 2014.

[9] E.M.Brown, J.T.McGriff, R.M. Malinowski. Intravenous regional anaesthesia (Bier block): review of 20 years' experience. Canadian Journal of Anaesthesia, 1989, 36(3), 307-310,
[10] J.F. Kragh, D.G. Baer, T.J.Walters. Extended (16-Hour) Tourniquet Application After Combat Wounds: A Case Report and Review of the Current Literature. J Orthop Trauma, 2007, 21 (4), 274-278.
[11] J.M. Bruner. Time, pressure, and temperature factors in the safe use of the tourniquet. Hand. 1970 Mar;2(1):39–42.
[12] A.E.Flatt, Tourniquet time in hand surgery. Arch Surg. 1972 Feb;104(2):190–192
[13] E.H.Thomassen. An improved method for application of the pneumatic tourniquet on extremities. Clin Orthop Relat Res. 1974; (103):99–100.
[14] J.C.Griffiths, Heywood OB. Bio-mechanical aspects of the tourniquet. Hand. 1973 Jun;5(2):113–118.
[15] K.C.Saunders, D.L.Louis, S.I. Weingarden, G.W. Waylonis Effect of tourniquet time on postoperative quadriceps function. Clin Orthop Relat Res. 1979 Sep; (143):194–199.
[16] S. Santavirta, A. Luoma, A.U.Arstila, Morphological and biochemical changes in striated muscle after experimental tourniquet ischaemia. Res Exp Med (Berl) 1979 Mar 9;174(3):245–251.
[17] S. Jeyaseelan, T.M. Stevenson, J. Pfitzner, Tourniquet failure and arterial calcification. Case report and theoretical dangers. Anaesthesia. 1981 Jan;36(1):48–50
[18] J.L.Deloughry, R. Griffiths, Arterial tourniquet. Contin Educ Anaesth Crit Care Pain 2009, 9(2): 56-60
[19] J.F.. Kragh, T.J.Walters,D.G. Baer, C.J.Fox, C.E.Wade, J. Salinas, J.B. Holcomb, Practical Use of Emergency Tourniquets to Stop Bleeding in Major Limb Trauma. 2008, J Trauma, 6, 38-50.
[20] http://www.tourniquets.org/tourniquet_technology.php
[21] A. Faulconer, V.S. Lawrence, T.H.Seldon, A safety valve for the pneumatic tourniquet. Anesth Analg.1970 Jul-Aug;49(4):575–576.
[22] M. Eidelman, A. Katzman, and V. Bialik, A novel elastic exsanguination tourniquet as an alternative to the pneumatic cuff in pediatric orthopedic limb surgery. J. of Pediatric Orthopaedics B, 2006, 15(5), 379–384.