

تکنیک‌های آماده‌سازی عروق و مجاری^۱

اهداف

۱. تهیهٔ اطلس کاربردی عروق و مجاری
۲. آموزش مورفولوژی شبکهٔ عروقی و مجاری بدن
۳. استفاده جهت اخذ عکس رادیولوژی و سی‌تی اسکن
۴. کمک به تشخیص بیماری‌های پزشکی و دامپزشکی
۵. کاربرد تحقیقاتی و پژوهشی
۶. به عنوان مدرک جرم برای استفادهٔ طولانی‌مدت در پزشکی قانونی
۷. کاربرد تزئینی در موزه‌ها

تکنیک آماده‌سازی عروق و مجاری، تکنیکی است که با تزریق یک سری مواد به داخل عروق و مجاری قسمت‌هایی از بدن، امکان ماندگاری طولانی‌مدت آن قسمت را فراهم نموده و به عنوان یک تکنیک تشخیصی در بیماری‌های پزشکی و دامپزشکی اهمیت دارد.

مواد مورد نیاز

۱. گچ به همراه مواد رنگی
۲. ژلاتین
۳. رادیو پک در رادیولوژی
۴. رودوپاس

روش کار

ابتدا با توجه به نوع هدف نمونه را آماده می‌کنند؛ برای مثال جهت اطلس کاربردی و یا مشخص نمودن مسیر عروق نمونه‌هایی مانند کبد یا شش، آن قسمت را سالم از بدن جدا نموده و در زیر آب شست‌وشو می‌دهند. سپس با تشریح موضعی عروق و مجاری را مشخص نموده و به کمک سرنگ‌های ۶۰ سی‌سی و آنژیوکت تزریق یکی از مواد مذکور را انجام می‌دهند.

در صورت استفاده از گچ به عنوان مادهٔ تزریقی، گچ را با آب زیاد مخلوط می‌کنند تا رقیق شود. سپس مواد رنگی بسته به نوع رگ و مجرا (قرمز - سرخرگ، آبی - سیاهرگ، سبز - مجاری صفراوی و ...) به محلول اضافه شده و

¹. Vessles Prepration

بلافاصله تزریق می‌گردد. سپس نمونه برای مدتی نگهداری می‌شود تا خشک گردد. از ماده ژلاتین نیز می‌توان به عنوان ماده تزریقی به جای گچ استفاده نمود، این ماده با توجه به خاصیت الاستیکی که دارد نمی‌شکند بنابراین بهتر از گچ است.

ماده رادیوپک در گرفتن عکس رنگی از اندام‌های بدن در رادیولوژی و سی‌تی اسکن کاربرد دارد. ماده رودوپاس ماده‌ای است مقاوم به اسید با رنگ‌های مختلف که در بازار موجود می‌باشد و در تهیه مولاژ عروق و مجاری کاربرد وسیعی دارد. مراحل آماده‌سازی و تزریق این ماده به شرح زیر می‌باشد:

پس از انتخاب نمونه مورد نظر، ابتدا آن را شست‌وشو داده و سپس با استفاده از سرنگ مقداری از محلول رودوپاس را با رنگ دلخواه مخلوط نموده و به داخل عروق یا مجاری تزریق می‌کنند. در ادامه با استفاده از نخ و پنس خون‌بند مسیر رگ یا مجرا را مسدود می‌کنند و به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب معمولی نگهداری می‌نمایند. در مرحله بعد، نمونه مورد نظر به ظرف شیشه‌ای حاوی محلول اسید کلریدریک غلیظ انتقال می‌یابد. محلول اسید کلریدریک پس از مدتی تمام بافت‌های نمونه را بجز مسیرهایی که محلول رودوپاس تزریق شده است از بین می‌برد. سپس نمونه را از محلول اسید کلریدریک خارج کرده و با فشار کم آب شست‌وشو می‌دهند. به دلیل مقاوم بودن رودوپاس به اسید، شبکه عروقی و مجاری بافت مورد نظر مشخص می‌گردد. نکته مهم این که هنگام استفاده از محلول اسید کلریدریک غلیظ رعایت نکات ایمنی از قبیل استفاده از ماسک، دستکش، روپوش و... الزامی می‌باشد.



تصاویر ۳-۶ و ۴-۶. تهیه قالب‌های عروقی و مجاری کبدی گوسفند با استفاده از رودوپاس



تصاویر ۱-۶ و ۲-۶. تهیه قالب‌های عروق سیاهرگی و سرخرگی کلیه گوسفند با استفاده از رودوپاس.

تکنیک خشک کردن نمونه‌های توخالی بدن به وسیله دمیدن هوا^۲

این تکنیک به عنوان تکنیکی مهم در بهبود تشریح احشای توخالی بدن کاربرد دارد. با توجه به وجود مشکلاتی از قبیل بوی بد، عدم دسترسی به تعداد کافی، پارگی در حین عمل تشریح و آلوده نمودن محیط، هنگام کار با نمونه‌های توخالی مانند چهار معده در نشخوارکنندگان، معده در تک‌سمیان و شش‌ها، استفاده از این روش بسیار مؤثر به نظر می‌رسد. در واقع زمینه استفاده طولانی‌مدت از نمونه‌های ذکر شده با حفظ شکل طبیعی آن‌ها با این روش فراهم می‌گردد.

برای خشک کردن احشای مورد نظر به یک دستگاه پمپ باد حداقل ۲۵ اتمسفری نیاز است. در خروجی دستگاه با تعبیه یک شیر قابل کنترل میزان هوای ورودی به نمونه تنظیم می‌گردد. با این عمل از ورود ناگهانی هوا به نمونه و پارگی آن جلوگیری می‌شود.

روش کار

نمونه مورد نظر را با دقت از بدن جدا می‌کنند، به طوری که کمترین آسیبی مثل خراشیدگی و پارگی به آن وارد نشود؛ چراکه در صورت پارگی هوا از آن آسیب خارج شده و خوب خشک نمی‌گردد.

در مورد خشک کردن نمونه شش، نای را حدود ۱۰ سانتی‌متر قبل از ورودی سینه جدا می‌کنند. بهتر است قلب و عروق به طور کامل همراه شش از بدن خارج گردند. در مرحله بعد شیلنگ آب را وارد نای نموده (در مورد نمونه معده شیلنگ آب وارد مری می‌شود) و با فشار کم شست‌وشو می‌دهیم. فشار آب بایستی به حدی کنترل شود که

^۲. Air Drying

آسیبی به بافت وارد نگردد. شست‌وشو را تا خارج نمودن کامل خونابه و محتویات داخل نمونه ادامه می‌دهیم؛ به گونه‌ای که رنگ صورتی شش به سفید تبدیل شود و در مورد معده‌های ساده و مرکب (چهار معده) تخلیه کامل محتویات آن‌ها انجام گردد.

بعد از تمیز کردن نمونه، آب آن تخلیه شده و به وسیله یک بست محکم به دستگاه پمپ باد وصل می‌گردد. سپس شیر تخلیه هوا به میزان کم باز و فشار آن طوری تنظیم گردد که نمونه در حالت طبیعی خود قرار گیرد. معمولاً مدت زمان اتصال نمونه‌ها برای خشک شدن به پمپ ۲۴ تا ۴۸ ساعت می‌باشد.

نحوه قرار گرفتن شش‌ها و چهار معده هنگام خشک شدن بسیار مهم است. بهتر است نمونه مورد نظر به شکل آویزان از شیلنگ تخلیه هوا باشد. این عمل از چروکیدگی و تورفتگی نمونه جلوگیری کرده و به قرار گرفتن در حالت طبیعی آن کمک می‌کند. به دلیل سنگینی نمونه در ابتدای کار بهتر است حدود ۲-۳ ساعت آن را روی یک سطح صاف به گونه‌ای قرار داد که ضمن عدم تغییر حالت طبیعی نمونه، آب آن نیز تخلیه گردد. بعد از اتمام کار، نمونه را از دستگاه خارج کرده و در مجاورت هوای آزمایشگاه برای مدتی نگهداری می‌کنیم. در مورد نمونه شش، بعد از خشک شدن، قلب و چربی‌های باقیمانده آن خارج گردیده و به سطوح آن روغن جلا زده می‌شود. سپس نمونه آماده‌شده را در محفظه‌ای مخصوص نگهداری می‌کنند تا درحین استفاده در اثر رطوبت و دست زدن به آن از بین نرود.



تصویر ۶-۶. شش خشک‌شده گوسفند



تصویر ۶-۵. چهار معده خشک‌شده گوسفند



تصویر ۸-۶. شش خشک شده اسب

تصویر ۷-۶. معده خشک شده اسب

تکنیک پلاستیکی کردن^۳

فساد و پوسیدگی، در عین حال که فرآیندی حیاتی در طبیعت است، برای مطالعات مورفولوژیکی، آموزشی و تحقیقاتی به عنوان یک مانع محسوب می گردد و یافتن تکنیک مناسب نگهداری به خصوص برای متخصصان رشته آناتومی از اهمیت خاصی برخوردار است. متخصصان علوم تشریحی از گذشته های دور همواره در جست و جوی روشی جهت نگهداری بافت های قابل فساد و نرم بدن انسان و حیوان و تهیه نمونه هایی بادوام، باقوام، با استحکام و قابل حمل و نقل بوده اند. دیکنز و پرن^۴ در سال ۱۹۱۴ و هوفستر و شیمایدل^۵ در سال ۱۹۲۴ با نگهداری نمونه ها در پارافین تا حدودی به این هدف نزدیک شدند. این نمونه های خشک دارای ظاهری طبیعی و نسبت به تأثیرات مکانیکی مقاوم بودند؛ ولی با این وجود دوام و قوام آن ها زیاد نبوده و در مقابل گرما حساس و قابل اشتعال بودند.

در نهایت روش منحصر به فرد پلاستینیشن توسط دکتر گونتر فون هاگنز در سال ۱۹۷۸ ابداع گردید و اولین نمونه کامل انسانی پلاستیکی شده توسط این دانشمند در سال ۱۹۹۵ در ژاپن به معرض نمایش گذاشته شد. امروزه سه مرکز مهم بین المللی در امر پلاستینیشن در کشورهای آلمان، قرقیزستان و چین قرار دارند.

آموزش آناتومی بدن انسان و حیوانات، علاوه بر نیاز به معلم مجرب و متخصص، نیاز به استفاده از تکنیک های کمک آموزشی مناسب دارد. قطعات پلاستینه شده جهت اهداف آموزشی بسیار مناسب می باشند. تکنیک پلاستینیشن تکنیکی پیشرفته در دامپزشکی و علم پزشکی و یک رویکرد جدید در آموزش های عملی می باشد که در آن نمونه ها را جهت ماندگاری طولانی و استفاده درازمدت جهت امر تشریح پلاستیکی می کنند. با این روش، از هدر رفتن وقت، سرمایه و به ویژه در دامپزشکی از کشتن حیوانات جلوگیری می گردد.

قاعده کلی پلاستیکی کردن بافت ها شامل جانشینی آب و قسمتی از چربی نمونه به وسیله یک پلیمر انعطاف پذیر است. سه گروه مختلف از مواد پلیمری در این روش استفاده می گردند که عبارتند از:

^۳. Plastination

^۴. Dikceaens Webrent

^۵. Hokhster&Sheimaidel

۱. بیش‌ترین پلیمر مورد استفاده سیلیکون می‌باشد. این پلیمر در درجه‌های مختلفی از ویسکوزیته (چسبندگی) برای کاربردهای متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ از جمله تهیه نمونه‌های سه‌بعدی و انعطاف‌پذیر برای اهداف آموزشی.

۲. دومین گروه پلیمرها یک نوع رزین به نام اپوکسی^۶ می‌باشد. نمونه‌های تهیه‌شده توسط این پلیمر عمدتاً در آموزش بخش کالبدشناسی و آموزش در ام آر ای و اولتراسوند استفاده می‌شود.

۳. سومین گروه از پلیمرهای مورد استفاده که از پلی‌استر ساخته می‌شود منحصرأً برای آماده‌سازی برش‌های غیرشفاف از مغز استفاده می‌شود. مشخصه اصلی این روش این است که تمایز رنگ را بین قسمت خاکستری و سفید مغز بالا می‌برد.



تصویر ۹-۶. پلاستینیشن حفره سینه و شکم لاما

مراحل مختلف پلاستینیشن

(۱) ثابت سازی^۷

محلول فرمالین با غلظت بین ۲۰-۵ درصد جهت ثابت‌سازی می‌تواند استفاده شود. برای افزایش حفاظت رنگ، استفاده از محلول کایزرلینگ^۸ سرد ۴ درجه که شامل ۵۰ درصد فرمالین است توصیه شده تا ثابت‌سازی را انجام دهد.

به طور کلی نمونه‌ها به وسیله تزریق درون رگ‌های خونی (به شرط این که قبلاً با مواد رنگی پر نشده باشند)،

^۶. Epoxy

^۷. Fixation

^۸. Kaiserling

نفوذ^۹ (تزریق محلول در ماهیچه با کمک یک سرنگ و سوزن) یا فرو بردن در یک محلول ثابت‌کننده فیکس می‌شوند.

بسته به اندازه نمونه و روش ثابت‌سازی مورد استفاده، این مرحله بین ۳-۱ هفته طول می‌کشد. به دلیل محتوای بالای چربی مغز توصیه می‌شود که این ساختار در غلظت بالای محلول فرمالین در یک دوره زمانی طولانی فیکس شود. سپس نمونه‌های ثابت‌شده را در آب زلال و شفاف برای حذف مواد تثبیت‌کننده اضافی غوطه‌ور می‌کنند. نمونه‌های فیکس‌شده درون شریانی برای شروع مرحله آب‌گیری در اتانول ۷۰-۶۰ درصد قرار داده می‌شوند تا زمانی که محتوای آب نسبت به الکل کمتر از ۱ درصد باشد. مدت زمان این دوره ۵-۱ هفته ممکن است طول بکشد. علاوه بر آب، گلیسرول و دیگر مواد امولسیون به صورت همزمان استخراج می‌شوند. در نهایت اتانول با استون و یا متیلن کلرید که به عنوان واسطه فرار بر پایه سیلیکون و همچنین به عنوان یک عامل چربی‌گیر برای نمونه‌های غنی از چربی عمل می‌کند جایگزین می‌گردد.

بافت‌های تازه فیکس‌شده با محلول فرمالدئید ۲۰-۵ درصد را می‌توان مستقیماً در حمام استون در دمای ۲۵- درجه سانتی‌گراد آب‌گیری نمود. نمونه‌های قدیمی موزه‌ها که در فرمالین بیش از ۱۰ سال فیکس شده‌اند می‌توانند پلاستیکی شوند. تنها محدودیتی که وجود دارد نمونه‌هایی است که در یک محلول حاوی گلیسرول ذخیره می‌شوند. این نمونه‌ها باید کاملاً شست‌وشو شوند تا همه گلیسرول موجود در بافت قبل از پلاستیکی کردن نمونه جدا گردد.

(۲) آب‌گیری^{۱۰}

پلیمرهای مختلفی که برای پلاستیکی کردن استفاده می‌شوند قابل حل در آب نیستند. بنابراین نمونه‌ها باید کاملاً آب‌گیری شوند و آب آن‌ها باید به وسیله یک حلال میانجی جایگزین شود تا به نفوذ پلیمر در نمونه‌ها منجر شود. آب‌گیری می‌تواند به تدریج و با شست‌وشوی اتانول به دست آید. لازم به تذکر است که نمونه‌هایی که در گلیسرول ذخیره می‌شوند باید با اتانول آب‌گیری شوند. عیب اصلی استفاده از اتانول جهت آب‌گیری این است که این ماده باید در مراحل بعدی توسط استون یا متیلن کلراید (قبل از مرحله اشباع‌سازی) جایگزین شود. این روش همچنین سبب چروک‌خوردگی قابل توجه نمونه می‌شود؛ زیرا که عموماً در دمای اتاق انجام می‌شود. بنابراین از چروک‌خوردگی نمونه بایستی جلوگیری شود تا بیش‌ترین نمای طبیعی نمونه‌ها به دست آید.

فرآیند استاندارد برای آب‌گیری، فریز کردن و جایگزین نمودن با استون در ۲۵- درجه است. با فریز کردن در استون ۲۵- درجه، در زمان صرفه‌جویی می‌گردد.

زمانی که نمونه‌ها در استون خنک فرو برده می‌شوند (۲۵- درجه) نمونه‌ها به سرعت یخ می‌بندند و از چروک‌خوردگی بافت‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای جلوگیری به عمل می‌آید. این فرآیند با سه مرحله تغییر در استون

⁹. Infiltration

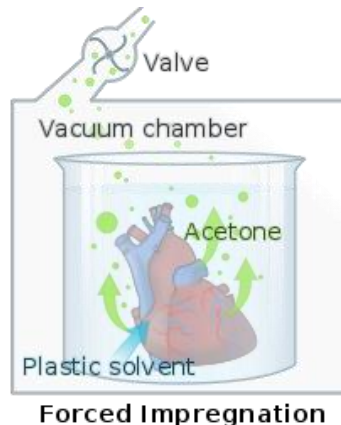
¹. Dehydration

معمولاً به ۳ تا ۵ هفته زمان نیاز دارد. در نهایت مقدار آب باید به کمتر از ۱ درصد کاهش یابد.

پس از جایگزینی آب توسط استون، چربی نمونه نیز با استون در دمای محیط به مدت یک هفته جایگزین می‌شود. سپس نمونه‌ها را می‌توان اشباع‌سازی نمود. نمونه‌هایی که برای پلاستیکی کردن با رزین اپوکسی آماده می‌شوند نیاز به چربی‌زدایی بیش‌تری در یک حمام متیلن کلراید دارند تا شفافیت‌شان بهبود پیدا کند.

۳) اشباع‌سازی^{۱۱}

فرآیند اشباع‌سازی که اشباع‌سازی اجباری نامیده می‌شود، در یک اتاقک خلأ انجام می‌شود. ابتدا نمونه‌ها در یک حمام از پلیمر مایع غوطه‌ور می‌گردند. سپس توسط یک پمپ خلأ فشار به آرامی در اتاقک کاهش داده می‌شود. در نتیجه این فرایند فرم استون از فاز مایع به فاز بخار تغییر داده شده و به وسیله پمپ به بیرون تخلیه می‌شود. فرایند استخراج استون از بافت، خلأی را در داخل نمونه ایجاد می‌کند که سبب نفوذ پلیمر به داخل آن می‌گردد. زمانی که خلأ اعمال می‌شود، این بیرون کشیدن تحت نظارت قرار می‌گیرد و سرعت اشباع‌سازی به وسیله مشاهده تشکیل حباب گاز در سطح پلیمر از طریق یک پنجره تنظیم می‌شود (تصویر شماتیک). از بیرون کشیدن سریع استون به دلیل متلاشی شدن نمونه بایستی جلوگیری نمود. اشباع‌سازی به وسیله سیلیکون ۴-۳ هفته و به وسیله رزین اپوکسی یا پلی‌استر چند روز طول می‌کشد.



تصویر ۱۰-۶. فرایند اشباع سازی

¹ . Impregnation

عمل آوری پلیمر استفاده شده^{۱۲}

بعد از کامل شدن فرایند اشباع سازی، نمونه ها از حمام پلیمر خارج می شوند. در این حالت باقیمانده پلیمر در حمام هنوز مایع است و می توان دوباره برای اشباع سازی بعدی از آن استفاده نمود. نمونه های اشباع شده با سیلیکون در معرض یک اتاقک بسته با جو اشباع شده به وسیله هاردنر گازی^۳ قرار داده می شوند. این فرایند در دمای اتاق انجام می گردد. با این روش سیلیکون منبسط شده و زمانی که نمونه گرم می شود از آن تراوش می کند.

عمل آوری نمونه هایی که با رزین اپوکسی اشباع شده اند به وسیله یک عملیات حرارتی در ۴۵ درجه سانتی گراد انجام می شود. معمولاً عمل آوری در یک آون حدود یک هفته طول می کشد.

عمل آوری برش های اشباع شده مغز با پلی استر به وسیله در معرض قرار دادن ۴۵ دقیقه ای اشعه ماورای بنفش شروع و با قرار گرفتن در یک آون دمای ۴۵ درجه سانتی گراد برای مدت ۵ روز کامل می گردد.



تصویر ۱۲-۶. پلاستینیشن شتر



تصویر ۱۱-۶. پلاستینیشن خرگوش

¹ . Curing

²

¹ . Gaseous Hardner

³



تکنیک تهیه مولاژهای آناتومی با استفاده از رزین

تکنیک‌های بسیار زیادی جهت حفظ و نگهداری طولانی‌مدت نمونه‌های آموزشی در دامپزشکی مورد استفاده می‌باشند. امروزه تکنیک استفاده از رزین پلی‌استر به عنوان یک ماده نگهدارنده با توجه به کاربرد وسیع، ماندگاری طولانی‌مدت، شفافیت بالا، بی‌ضرر و غیرسمی بودن آن پس از آماده شدن نسبت به سایر مواد نگهدارنده بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از رزین پلی‌استر به جای محلول فرمالدئید ۱۰ درصد به دلیل سرطانزا بودن و عوارض پوستی، چشمی و تنفسی به منظور ثبوت و نگهداری امعا و احشای حیوانات در آموزش عملی بسیار مهم می‌باشد.

مواد مورد نیاز

۱. رزین پلی‌استر
 ۲. ماده سفت و سخت‌کننده (هاردنر)
 ۳. ماده شتاب‌دهنده در رزین پلی‌استر (کاتالیزور)
- رزین پلی‌استر^۱**

رزین‌های پلی‌استر غیراشباع به طور گسترده‌ای در سراسر دنیا استفاده می‌شوند. زنجیر اصلی پلیمری این رزین دارای اتصالات استری می‌باشد که از واکنش تراکمی یک ترکیب الکلی چندعاملی و یک اسید چندعاملی مانند گلیکول و اسید فوماریک تهیه می‌شود. رزین پلی‌استر ماده‌ای است که در مجسمه‌سازی، کارهای صنعتی و تولید سنگ‌های مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رزین پلی‌استر وقتی با هاردنر مخلوط می‌گردد پس از مدتی حرارت آن بالا می‌رود و به حالت ژله درمی‌آید و سپس سخت و محکم می‌گردد. به هنگام سفت شدن پلی‌استر، مولکول‌ها به هم نزدیک شده و مقداری از محلول نیز تبخیر می‌گردد. در نتیجه حجم پلی‌استر بعد از بستن اندکی کاهش می‌یابد. پلی‌استر سخت‌شده را دیگر نمی‌توان به حالت مایع برگرداند. مناسب‌ترین درجه برای کار با پلی‌استر حرارت بیست درجه می‌باشد.

رزین پلی‌استر بوی زننده‌ای دارد. اگر روزانه مقدار پنج کیلوگرم از آن مصرف شود بی‌ضرر است ولی بیش‌تر از این مقدار را باید در اتاقی که تهویه دارد انجام داد. برای تهیه مولاژ، رزین پلی‌استر را در قالب‌هایی با سطح داخلی صاف ریخته و درون آن را با ماده جداکننده‌ای مانند پارافین مفرش می‌کنند. رزین پلی‌استر باید در جای خنک و تاریک نگهداری شود. عمر رزین در صورتی که مرغوب باشد به دوازده ماه می‌رسد.

رزین پلی‌استر بعد از سخت شدن غیرسمی و غیرمتخلخل می‌باشد و در مقابل نور تغییر رنگ نمی‌دهد، می‌توان آن را سوهان زد و یا با مته سوراخ نمود. هم‌چنین می‌توان انواع رنگ‌های پودری را با آن مخلوط نمود تا به صورت رنگین درآیند.

¹ . Polyester Resin

هاردنرهای مورد استفاده در رزین پلی‌استر به دو صورت مایع و خمیری وجود دارند. کار کردن با نوع خمیری ساده‌تر است. این ماده بی‌رنگ و دارای بوی تندی می‌باشد.

میزان هاردنر در رزین پلی‌استر

با کم و زیاد کردن هاردنر می‌توان زمان سفت شدن مولاژ را تنظیم نمود. قانون کلی میزان هاردنر در رزین پلی‌استرهای شفاف ۲ درصد است. رزین پلی‌استر در لایه‌های نازک خیلی به‌کندی سفت می‌شود و قسمت بالایی آن به حالت چسبنده باقی می‌ماند. در این موارد باید مقدار هاردنر را به ۴ درصد رساند.

اگر ضخامت پلی‌استر زیاد باشد، احتمال ترک‌خوردگی پیش می‌آید. در این مورد باید میزان هاردنر را ۱ درصد انتخاب نمود. وقتی که قالب پلاستیکی است و نسبت به حرارت حساس می‌باشد نیز باید میزان هاردنر را کاهش داد. اگر مقدار هاردنر از ۴ درصد تجاوز کند باعث می‌شود پلی‌استر خیلی ترد و شکننده شود. برای این که پلی‌استر حالت قابل انعطافی داشته باشد بایستی میزان هاردنر را ۱ درصد گرفت.

ماده شتاب‌دهنده در رزین پلی‌استر (کاتالیزور)

ماده شتاب‌دهنده از ترکیبات کبالت و به رنگ بنفش می‌باشد. مقدار ماده شتاب‌دهنده در رنگ و زمان سخت شدن پلی‌استر تأثیر می‌گذارد. بسیاری از شتاب‌دهنده‌ها زمان سخت شدن را تسریع کرده و باعث می‌شوند پلی‌استر تمایل به تغییر رنگ به زردی یا قرمزی پیدا کند.

ماده شتاب‌دهنده در ایجاد حرارت به هنگام سخت شدن نیز مؤثر است. وقتی که ماده شتاب‌دهنده بیش‌تر باشد، به دلیل تسریع عمل پلیمریزاسیون، حرارت بیش‌تری تولید می‌گردد.

برای آماده کردن رزین پلی‌استر، ابتدا ماده شتاب‌دهنده را به رزین اضافه نموده و خوب به هم می‌زنند. سپس ماده هاردنر را به آن می‌افزایند.

زمان سخت شدن رزین پلی‌استر بستگی به مقدار ماده شتاب‌دهنده، مقدار ماده هاردنر و دمای هوای اتاق دارد. زمان سخت شدن رزین پلی‌استر شفاف طولانی‌تر از زمان سخت شدن رزین پلی‌استر غیرشفاف می‌باشد. هم‌چنین درجه حرارت پایین در اتاق باعث تعویق عمل سخت شدن می‌گردد. اگر درجه حرارت اتاق زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد باشد، عمل سخت شدن در رزین پلی‌استر شفاف صورت نمی‌گیرد. در این صورت گفته می‌شود که پلی‌استر منجمد شده است، ولی رزین پلی‌استر غیرشفاف در حرارت بالای ۱۲ درجه می‌تواند سخت شود.

لایه‌های نازک رزین پلی‌استر برای سخت شدن به مدت طولانی‌تری نیاز دارند و تا چندین روز به سخت شدن ادامه می‌دهد. بنابراین سوهان‌کاری نمونه را باید به چند روز پس از خروج نمونه از قالب به تعویق انداخت. مدت سخت شدن پلی‌استر را می‌توان با قرار دادن مولاژ در فر آشیخ‌خانه در حرارت ۵۰ تا ۸۰ درجه به نیم ساعت رساند.

میزان انقباض پلی‌استر

پلی‌استرهای مختلف معمولاً بین ۳ تا ۵ درصد حجم خود را در طی زمان انعقاد از دست می‌دهند. این خاصیت

دارای مزایا و مضراتی می‌باشد؛ مزیت آن در این است که به علت کوچک شدن از قالب ساده‌تر بیرون می‌آید. مشکل آن این است که اگر یک لایه از آن را روی لایه دیگری که منعقد شده است بریزیم، به علت این که لایه قبلی به علت انقباض با دیواره قالب فاصله پیدا کرده است، به داخل آن فاصله راه پیدا می‌کند و حجم زائدی را به وجود می‌آورد که بعداً باید تراشیده شود.



تصویر ۱۳-۶. قالب رزین پلی‌استر استخوان‌های مچ پای اسب

تهیه مولاژ حشرات با استفاده از رزین پلی‌استر

مواد و وسایل لازم

رزین پلی‌استر مایع، کبالت، پراکسید، استون، الکل ۹۵ درجه، لیوان مدرج، همزن از نوع شیشه‌ای یا پلاستیکی، صفحه شیشه‌ای، قالب پلاستیکی از نوع پروپیلین و حشره مورد نظر.

روش کار

حشره را به طور کامل در الکل ۹۵ درجه غوطه‌ور می‌کنند تا تمیز گردد. سپس با قلم‌مو به آن استون اضافه می‌شود. حجم مصرفی رزین را مشخص می‌کنند. برای این کار قالب را پر از آب کرده، سپس آن را در لیوان مدرج می‌ریزند تا حجم آن معلوم شود. بعد از خشک کردن کامل قالب و لیوان مدرج، به اندازه نصف حجم قالب رزین مایع به آرامی درون لیوان ریخته می‌شود تا از تشکیل حباب جلوگیری شود. برای ترکیب محلول رزین پلی‌استر، به ازای هر ۱۰۰ گرم رزین پلی‌استر ۳-۵ قطره کبالت بنفش‌رنگ و ۸-۱۰ قطره پراکسید بی‌رنگ لازم است. محلول را به آرامی هم زده و چند لحظه صبر می‌کنند تا حباب‌ها به سطح مایع بیایند. سپس بلافاصله به آرامی محلول را داخل قالب ریخته و روی قالب را با شیشه کوچک می‌پوشانند تا گرد و خاک روی آن ننشیند. پس از طی زمانی کوتاه، جهت سخت شدن رزین پلی‌استر و اولین علائم تشکیل پرده جامد روی آن، به وسیله موجین، حشره در قالب روی رزین قرار می‌گیرد. مجدداً مقدار لازم رزین پلی‌استر را برای پر کردن نصف بعدی قالب با کبالت و

پراکسید مخلوط نموده و به آرامی از کنار، درون قالب می‌ریزند. حباب‌های هوا را با یک سنجاق ته‌گرد شکافته و هوای آن‌ها را خارج می‌سازند. همان‌گونه که گفته شد، مایع رزین پلی‌استر به تدریج به جامد تبدیل می‌شود و گرما پس می‌دهد. این حرارت ممکن است رنگ حشره را تغییر دهد، بنابراین قالب را در ظرفی که محتوی آب سرد باشد قرار داده و پس از ۳ الی ۵ ساعت قالب آماده‌شده را از ظرف آب سرد خارج می‌کنند.





تصویر ۱۴-۶. مولاژ حشرات با استفاده از رزین پلی‌استر