مجله جراحی استخوان و مفاصل ایران
دوره ۱۴، شماره ۱ (شماره مسلسل ۵۴)، زمستان۱۳۹۴، صفحه‌های ۴۶- ۴۲
Iranian Journal of Orthopaedic Surgery
Vol 14, No 1 (Serial No 54), Winter 2016: 42-46

مقاله مروری

مواد ترموپلاستیک در ساخت ارتوزها، مروری بر مقالات

دکتر محمد تقی کریمی، مهسا کاویانی بروجنی
مرکز تحقیقات اختلالات اسکلتی عضلانی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

خلاصه
استفاده از ارتوز در درمان ضایعات اسکلتی، عضلانی و عصبی، بسیار متداول است. برای ساخت ارتوزها مواد ترموپلاستیک نقش عمده‌ای را به عهده دارند. این مواد براساس نقطهٔ ذوب به سه دسته کلی: ۱. مواد فرم‌پذیر بدون نیاز به حرارت، ۲. موادی که برای شکل گرفتن به حرارت کمی نیاز دارند و ۳. موادی که برای فرم پیدا کردن حرارت بالایی را طلب می‌کنند تقسیم می‌شوند. استفاده از این مواد براساس خصوصیت مکانیکی آنها، دوام و فرم‌پذیری انجام می‌پذیرد و بسته به بیمار و نوع بیماری لازم است متفاوت باشند.
واژه‌های کلیدی: ارتوز، ضایعات اسکلتی – عضلانی، ضایعات عصبی، مواد ترموپلاستیک،

دریافت مقاله: ۲ ماه قبل از چاپ ؛ مراحل اصلاح و بازنگری: ۱ بار ؛ پذیرش مقاله: ۲۰ روز

Thermo-plastic materials for construction of Orthosis

(Review Articles)

Mohammad Taghi Karimi, MD; Mahsa Kaviani

Abstract
The use of orthosis in many musculoskeletal conditions and neurologic defects is mandatory.
The making of orthosis is usually, with thermoplastic material. Such material can be divided into 3 categories depending on the amount of heat necessary for its making. It may require no heat, some heat or a lot of heat for making an orthosis. The use of each type of thermoplastic material is, therefore, dependent on its strength, malleability and also on what type of person or disease it will be used for.
Keywords: Orthosis, musculoskeletal, neurologic defects, thermoplastic material

Received: 2 months before printing; accepted: 20 days before printing

Rehabilitation Sciences Research Center, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz Iran
Corresponding author: Mohammad Taghi Karimi, MD
Rehabilitation Sciences Research Center, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz Iran
Tel: 009807132262510 - Email: mt_karimi@sums.ac.ir

انتخاب مواد مناسب جهت ساخت ارتوز از اهمیت بسزائی برخوردار است و اساساً در انتخاب مواد پلاستیکی مواردی همچون کشسانی (الاستیسیته Elasticity)، حافظهٔ مواد، مدت زمان سرد شدن و شکل گرفتن، دوام، میزان استحکام، میزان جمع‌شدگی و میزان سختی مواد مد نظر قرار می‌گیرد.

مواد فرم‌پذیر در دمای پایین بر اساس مواد اضافه شده به آنها، خصوصیات مختلفی خواهند داشت. این مواد افزودنی شامل پُرکننده‌ها (filler)، حلال‌های پلاستیک (plasticizers)، روانسازها (lubricant) و مواد رنگی است. چسب‌های مورد استفاده برای ورزشکاران و یا باندهای گچی و فایبرگلاس از این گروه هستند. مواد فرم‌پذیر در دمای بالا برای ارتوزهای ستون فقرات و اندام تحتانی که احتیاج به استحکام بالائی دارند استفاده می‌شوند.

برخی از خصوصیات مکانیکی مواد ترموپلاستیک با آزمون‌های زیر مشخص می‌شوند:

۱- آزمون استحکام کششی (Tensile Strength)

۲- منحنی Harness

جدول ۱. خصوصیات انواع مختلف ورق‌های پلی پروپیلن مورد استفاده در ساخت ارتوزها

نوع ماده	خصوصیات	دمای فرم پذیری	موارد کاربرد
پلی پروپیلن گرید استاندارد (Standard Grade)	از استحکام و دوام بسیار بالایی برخوردار است. در بین ورق های ترموپلاستیک، بیشترین استحکام را دارد و بر روی قالب پوزیتیو فرم داده می‌شود.	۴۰۰-۴۲۵ درجه فارنهایت به مدت ۸ تا ۱۰ دقیقه حرارت داده می شود.	در ساخت انواع مختلف ارتوزها با دوام بالا کاربرد دارد. اساساً برای ساخت ارتوزهایی که برای مدت طولانی استفاده می‌شوند کاربرد دارد شامل CTLSO، TLSO و KAFO است.
پلی پروپیلن کوپلیمر (Copolymer)	از انعطاف پذیری بیشتری نسبت به نوع استاندارد برخوردار است. از استحکام بالا، وزن پایین و زیبایی منحصر بفرد برخوردار است.	۴۰۰-۴۲۵ درجه فارنهایت به مدت ۸ تا ۱۰ دقیقه حرارت داده می شود.	برای ساخت ارتوزهایی که به صورت مداوم استفاده می‌شود کاربرد دارد. (ارتوزهایی که بعد از فلج مفاصل به کار برده می‌شود).
پلی پروپیلن گرید ارتوپدیک (Orthopedic grade)	از انعطاف پذیری بیشتری نسبت به نمونه‌های دیگر برخوردار است. قابلیت چسبندگی خوبی به فوم‌های نرم به صورت ساکشن دارد. در مقایسه با گرید استاندارد دارای مقداری بوتیرات (Butyrate) است.	۴۰۰-۴۲۵ درجه فارنهایت به مدت ۸ تا ۱۰ دقیقه حرارت داده میشود.	در ساخت ارتوزهای مختلف به ویژه در ساخت TLSO، KAFO، AFO، EWHO، WHO و LSO کاربرد دارد.

۳- آزمون مقاومت در برابر ضربه (Impact test)

۴- آزمون Creep relaxation.

میزان استحکام مکانیکی ورق‌های ترموپلاستیک مورد استفاده در ارتوپدی فنی براساس آزمون‌های مکانیکی است و نکتهٔ اساسی که بایستی مدنظر قرار گیرد این است که مواد ترموپلاستیک فرم‌پذیر، در دمای بالای ۳۲۰ درجه فارنهایت فرم می‌گیرند. این مواد بعد از سرد شدن بلوری (crystallized) می‌شوند و بلوری یا شیشه‌ای شدن در دمای پایین ۲۹۰ درجه فارنهایت شروع می‌شود و نقش بسیار مهم و اساسی در استحکام نهایی ارتوز ساخته شده خواهد داشت. دمای فرم‌پذیری مواد ترموپلاستیک و دمای بلوری شدن آنها در جدول‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود.

برای فرم‌پذیری توجه به نکات زیر از اهمیت بالائی برخوردار است و زمانی که پروسهٔ ساخت به صورت vacuum forming (شکل‌دهی در خلأ) باشد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

۱) بایستی قالب پوزیتیو گرم باشد؛

۲) ورق ترموپلاستیک به دمای فرم‌پذیری مطلوب رسیده باشد؛

۳) به سرعت بر روی قالب پوزیتیو فرم داده و عمل واکیوم (vacuum) انجام شود.

نکته‌ای که متأسفانه در فرایند ساخت کمتر مد نظر قرار می‌گیرد گرم بودن قالب پوزیتیو است، چرا که باعث می‌شود ورق به سرعت سرد نشود و کمتر بلوری شود و در نتیجه، استحکام قطعهٔ ساخته شده بیشتر خواهد بود. باید توجه داشت که سریع سرد شدن پلاستیک و شکست گرمایی حاصل از آن، باعث پدیدار شدن شکست‌ها و استرس‌های داخلی در قطعه می‌شود و در نهایت باعث شکستگی قطعه خواهد شد.

پس باید دقت کافی کرد که قالب پوزیتیو و پلاستیک روی آن به آرامی سرد شود. نکتهٔ اساسی دیگر آن است که هرگز نباید قالب پوزیتیو خیس را حرارت داد، چرا که بخار آب تولید شده باعث شکستگی قالب و حتی بزرگ شدن آن می‌شود.

جدول ۲. خصوصیات و نقطه فرم پذیری بعضی از مواد ترموپلاستیک مورد استفاده در ساخت ارتوزها

نوع ماده	خصوصیات	دمای فرم پذیری	موارد کاربرد
لکسان (Lexan)	آب دوست است، قابلیت استحکام کششی بالایی دارد، از پلی‌کربنات ساخته شده است، مقاومت بالایی به ضربه دارد. بر روی قالب با ساکشن فرم داده می‌شود. ضخامت آن $\frac{1}{2}$اینچ است .	۴۵۰-۴۰۰ درجه فارنهایت به مدت ۱۰ تا ۲۰دقیقه	در ساخت چک سوکت کاربرد دارد.
کایدکس (Kydex)	برای ایجاد استحکام به روی فوم های نرم کشیده می‌شود. می‌توان آن را به دفعات حرارت داد و بر روی قالب فرم داد. از Acrylic polyvinyl choloride ساخته شده و استحکام فرسایشی بالایی دارد.	۴۰۰-۳۵۰ درجه فارنهایت در عرض چند ثانیه فرم‌پذیر خواهد بود.	بیشتر برای ساخت ارتوزهای ستون فقرات به ویژه کلارهای گردنی به کار می‌رود. در ساخت ارتوزهای اندام فوقانی هم کاربرد دارد.
نایلوپلکس (Nyloplex)	مشابه کایدکس می‌توان به دفعات آن را حرارت داد و بر روی قالب فرم داد. شفاف است و استحکام بالایی دارد.	۳۰۰-۲۸۵ درجه فارنهایت یا به مدت دو ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده می شود.	در ساخت انواع خاص AFO شامل spiral و hemispiral و نیز ارتوزهای اندام فوقانی کاربرد دارد.
ارتوپلاست (orthoplast)	از جمله مواد ترموپلاستیک فرم پذیر در دمای پایین است. فرم‌پذیری راحت، استحکام بالا و چسبندگی لبه‌ها به هم، از خصوصیات آن است. دوام آن به مدت یک سال است. با حرارت خشک و یا آب گرم فرم می‌گیرد. ضخامت آن $\frac{1}{8}$ اینچ است.	۱۷۰-۱۴۰ درجه فارنهایت بر روی قالب پوزیتیو و یا اندام بیمار کشیده می‌شود.	اسپلینت اندام ها، باسکت ارتز میلواکی، ارتوزهای ستون فقرات
ارتولن (ortholen)	انعطاف‌پذیری مطلوبی دارد. بادوام و محکم است. مقاومت به فرسایش بالائی دارد. قابلیت جذب نیروهای پیچشی و چرخشی را ندارد. در ضخامت های ۱ تا ٦ میلیمتر وجود دارد. قابلیت ساکشن را دارند.	۳۵٦ درجه فارنهایت به مدت ۳ تا ۵ دقیقه	برای ساخت ارتوزهای AFO منعطف و یا ساخت WHO به کار می‌رود.
ویتراتان (Vithrathane)	اساساً از پلی‌اتیلن ساخته شده است. حساسیت خاصی برای استفاده کننده پدید نمی‌آورد. از $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{8}$ اینچ ضخامت دارد.	۳۵۰ تا ۳۷۵ درجه فارنهایت و به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه	TLSO و میلواکی و ارتوزهائی که برای شکستگی اندام فوقانی تجویز می‌شوند.
پلی‌اتیلن (Polyethylene)	انعطاف پذیری خوبی دارد. ایجاد حساسیت پوستی نمیکند. از $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{8}$ اینچ ضخامت دارد.	۳۵۰ درجه فارنهایت، به مدت ۷ تا ۱۵ دقیقه حرارت داده شود.	TLSO و باسکت ارتوز میلواکی و ارتوزهایی که برای شکستگی اندام تحتانی تجویز می‌شوند.
ترمو- واک (Thermo-vac)	شفاف است، مقاومت کششی بالائی دارد، از مواد ترموپلاستیک تهیه می‌شود. در مواردی که استرس‌های زیادی بر آنها وارد می‌شود کاربرد ندارد. قابلیت فرم پذیری با ساکشن را دارد. در ضخامت های از $\frac{1}{8}$ تا $\frac{3}{8}$ اینچ وجود دارد.	۳۰۰-۲۵۰ درجه فارنهایت. به مدت ۵ دقیقه حرارت داده می‌شود.	TLSO، WHO، AFO و برای چک سوکت (Check Socket) کاربرد دارد.

در مورد مواد «فرم‌پذیر در دمای پایین»، انتخاب مناسب مواد از اهمیت خارق‌العاده‌ای برخوردار است و ویژگی‌های خاص آنها، باید مد نظر قرار بگیرد، چرا که دوام برخی از آنها پایین است و تنها برای یک مدت زمان محدود قابلیت استفاده دارند. خصوصیات مهمی که در این زمینه باید مد نظر قرار بگیرند شامل موارد زیر است[۱، ۲، ۶]:

۱) چگالی (Density): در واقع همان چگالی مواد ترموپلاستیک است. باتوجه به اینکه مواد بایستی تا حد امکان سبک باشند تلاش می‌شود ازمواد با دانسیته پایین استفاده شود.

۲) سفتی و استحکام (strength and rigidity).

۳) شکل‌پذیری (conformity): شکل‌پذیری اسپلینت ساخته شده به طوری که اسپلینت بر روی مناطق آناتومیکال فشار غیرعادی اعمال نکند.

٤) چسبندگی لبه‌ها به هم (self-adherence): قابلیت چسبندگی لبه‌های ورق را به هم گویند.

۵) استحکام (durability): قابلیت ورق ترموپلاستیک در جذب نیروهای تکرارپذیر را گویند.

٦) راحتی در ساخت (Easy of fabrication).

۷) هزینه و در دسترس بودن (cost and availability).

مواد و پلاستیک‌های موجود در ساخت اسپلینت‌ها را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از:

۱) مواد بدون نیاز به حرارت برای فرم‌پذیری (No heat or layered material).

۲) مواد فرم‌پذیر در دمای پایین.

۳) مواد فرم‌پذیر در دمای متوسط.

٤) مواد فرم‌پذیر در دمای بالا.

مواد گروه اول شامل نوار (Tape)، باند گچی و باند فایبرگلاس (Fiberglass) است. مواد ترموپلاستیک فرم‌پذیر در دمای پایین، شامل لاستیک‌ها و مواد الاستیک است که اینها ورق‌هایی هستند که پایهٔ اصلی آنها از پلی‌ایزوپرن (polyisoprene) و پلی‌کاپرولاکتون (polycaprolactone) تشکیل شده و مواد مختلفی به آنها اضافه شده است. از گروه لاستیک‌ها (rubber) می‌توان به Ezeform و orthoplast اشاره کرد. این مواد از چگالی پایینی برخوردارند، قابلیت چسبندگی دارند و دارای سختی نسبی نیز هستند.

گروه دوم این مواد تحت عنوان مواد شبه «پلاستیک – لاستیک» (plastic-rubber like) شناخته می‌شوند که شامل موادی همچون پلی‌فلکس۲ (polyflex 2) و تولیدات کارخانه انسی‌ام‌پریفرد (NCM preferred®)[1] است. این مواد دارای راحتی نسبی هستند و خاصیت چسبندگی و سفتی نسبتاً پایینی دارند.

گروه سوم، مواد شبه‌پلاستیکی هستند که شامل موادی همچون ارتوپلاست۲ (orthoplast 2) و پلی‌فوم است. این مواد راحتی بالا، ولی خاصیت چسبندگی پایینی دارند و سختی این مواد نیز پایین است.

نکته اساسی دیگری که باید مد نظر باشد ضخامت مواد مورد استفاده است. ضخامت مواد ترموپلاستیک در دمای پایین متفاوت و بین ۱/٦ تا ٤/۸ میلی‌متر است. به‌طور کلی می‌توان گفت ضخامت ۱/٦میلی‌متر برای ساخت اسپلینت‌های انگشتان مناسب است و ضخامت ۳/۲ میلی‌متر برای اسپلینت‌های دست و مچ کاربرد دارد[٤و ۵].

انتخاب مناسب مواد در ساخت ارتوزها و وسایل کمکی از اهمیت بسزایی برخوردار است. اساساً بهتر است این مواد را براساس میزان محدودیت حرکتی مورد نیاز، میزان شدت ضایعه و مدت زمان لازم جهت ایجاد محدودیت حرکتی تقسیم‌بندی کرد. بر این اساس، مواد ساخت ارتوز به سه دستهٔ «فرم‌پذیر بدون حرارت»، مواد «فرم‌پذیر در دمای پایین» و مواد «فرم‌پذیر در دمای بالا» تقسیم کرد. بدین ترتیب، پیشنهاد می‌شود متخصصین ساخت ارتوز بر اساس ملاک‌های شرح داده شده به انتخاب مناسب مواد اقدام کنند.

1. NCM: North-Coast-Medical

References

1. American Academy of Orthopaedic Surgeons. *Atlas of orthotics. 10. 2nd. ed. St. Louis, Mo.: Mosby*. 1985; p: 199-237.

2. Rose GK. Orthotics: principles and practice. *Heinemann*. 1986.

3. Rose J, Gamble JG. Human walking. *3rd ed. ed. Philadelphia, Pa.; London: Lippincott Williams & Wilkins*. 2006; xiii: 234.

4. Canelon MF. Material properties: a factor in the selection and application of splinting materials for athletic wrist and hand injuries. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*. 1995 Oct; 22(4): 164-72.

5. Breger-Lee DE, Buford WL. Properties of Thermoplastic Splinting Materials. *Journal of Hand Therapy*. 1992; 5(4):202-11.

6. Groth GN, Kamwesiga J. Splinting materials old and new. *Journal of Hand Therapy.*1998; 15(2):202-4.

7. Rowley DI, PrattD, Powell ES, Norris SH, Duckworth T. The comparative properties of plaster of Paris and plaster of Paris substitutes. *Archives of orthopaedic and traumatic surgery Archiv fur orthopadische und Unfall-Chirurgie*. 1985;103(6):402-7.

8. Bowker P, Powell ES. A clinical evaluation of plaster-of-Paris and eight synthetic fracture splinting materials. *Injury*. 1992;23(1):13-20.