Archive of SID

ساختار میکروسکوپی لیگامان متقاطع قدامی در خرگوش

*فرزانه محمد زاده، **دکتر محمد بیات، **دکتر محمد رخشان

*کارشناس ارشد آناتومی، ** مرکز تحقیقات بیولوژی سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

خلاصه

لیگامان متقاطع قدامی مفصل زانو ساختمان پیچیده‌ای است که ساختمان و بیولوژی آن ارتباط مستقیمی با عملکرد آن به عنوان کنترل کننده حرکات مفصل دارد. با توجه به اینکه قطر فیبریلهای کلاژن آن براساس روند بلوغ، میزان حرکت و افزایش سطح استرس تغییر می‌کند و در جراحی ترمیمی آن نقش دارد، به نظر می‌رسد تعیین قطر و توزیع آنها از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. هدف تحقیق حاضر شناخت دقیق ساختمان لیگامان متقاطع قدامی، به وسیله میکروسکوپهای نوری، الکترونی اسکنینگ و انتقالی در خرگوش است.

سی راس خرگوش نر سالم به وسیله کلروفرم کشته شدند. پس از تشریح مفصل زانو، لیگامانهای متقاطع قدامی از استخوانهای تیبیا و ران جدا شد. سپس این نمونه‌ها به روشهای میکروسکوپی نوری و الکترونی اسکنینگ و انتقالی مطالعه و مورد بررسیهای کمی و توصیفی قرار گرفتند. مطالعه به روش میکروسکوپی نوری مقاطع عرضی لیگامان نشان داد که کل لیگامان درون یك مجموعه قرار گرفته و میانگین سطح مقطع آن ۱/۹۳ ± ۱۳/۰۸ میلیمتر مربع است. در نمونه‌های طولی در برخی موارد امتداد دستجات رشته‌های کلاژن به صورت مستقیم و در موارد دیگر به حالت مواج بود. در تصاویر تهیه شده به وسیله میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ مشاهده شد که لیگامان از دستجات (fascicles) رشته‌های کلاژن مواج در هم بافته‌ای تشکیل شده است که جهت اصلی آنها به موازات محور طولی لیگامان است. نوع دیگر اجتماع دسته‌های کلاژن برای بار اول مشاهده شد که عبارتند از: اجتماعی از رشته‌های کلاژن که شبکه توری مانند سه بعدی را تشکیل داده بودند. در تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی انتقالی مشاهده شد که لیگامان اغلب از فیبریلهای با اقطار ۱۳/۲ الی ۱۲۵/۷ نانومتر تشکیل شده که به وسیله بافت همبند سست از همدیگر جدا شده‌اند و میانگین آنها در خرگوشهای مورد بررسی ۲۰/۷ ± ۲/ ۴۹ نانومتر بود.

کلمات کلیدی: لیگامان متقاطع قدامی، فیبریل کلاژن، فراساختمان کلاژن، خرگوش

مقدمه

لیگامان متقاطع قدامی مفصل زانو ساختمان پیچیده‌ای است که ساختمان و بیولوژی آن ارتباط مستقیمی با عملکرد لیگامان به عنوان کنترل کننده حرکات مفصل زانو دارد. به دلیل همین پیچیدگی ترمیم (duplication) آن بسیار مشکل است (۴). این لیگامان اغلب طی فعالیتهای شدید ورزشی دچار جراحت می‌شود که التیام آن به کندی روی داده و اغلب کارآیی ورزشکار را با اختلال مواجه می‌کند (۲۰). علیرغم تحقیقات گسترده که در این زمینه انجام شده است لیگامان متقاطع قدامی همچنان عرصه پژوهشهای متعدد است. در سالهای اخیر نیز تحقیقات روی این لیگامان از جنبه ابعاد و ساختمان (۸)، آناتومی دستجات فیبرها (۱۳)، تغییرات فیبریلهای آن در هنگام پارگی (۱۶)، تغییرات سلولی آن (۱۵)، تغییرات ساختمانی لیگامان متقاطع به دنبال ترمیم و پیوند با لیگامانهای دیگر (۱۸،۱۴،۱۲) و موقعیت گیرنده‌های مکانیکی، ارزیابی بیومکانیکی و سازمان دهی سلولی لیگامان (۱۹،۱۱،۱) انجام شده است. قطر فیبریلهای کلاژن لیگامان طی روند بلوغ، حرکت، افزایش سطح استرس روی بافت تغییر می‌کند (۱۲). بنابراین به نظر می‌رسد شناخت دقیق قطر و توزیع فیبریلهای کلاژن آن از جنبه هیستولوژی، فیزیولوژی و جراحیهای ترمیمی آن (۶) از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. در همین

www.SID.ir

Archive of SID

زمینه نتایج مطالعات انجام شده با یکدیگر متفاوت است. تحقیقات قطر فیبریلها را بین ۱۵۰ الی ۲۵۰ نانومتر (۳) و قطر متوسط فیبریلهای لیگامان را که بین ۲۰ الی ۱۸۵ نانومتر بودند، ۷۵ نانومتر (۱۶) گزارش کرده‌اند. فیبریلها را از نظر قطر به دو تیپ کوچك و بزرگ تقسیم نموده‌اند. فیبریلهای کوچك با حداکثر قطر (peak) ۴۵ نانومتر و فیبریلهای بزرگ که در سه دسته با قطرهای ۳۵، ۵۰ و ۷۵ نانومتر قرار گرفته‌اند (۲۰). متوسط قطر فیبریلهای لیگامان متقاطع خرگوش را در ۳۳ الی ۴۰ ماهگی، ۰/۰۰۵ × ۰/۰۶۹ میلیمتر و در سن ۲ ماهگی ۰/۰۰۶ × ۰/۰۷۷ میلی متر گزارش کرده اند (۹).

از طرف دیگر، تاکنون تحقیقی روی لیگامان متقاطع قدامی به وسیله کاربرد همزمان روشهای میکروسکوپهای نوری، الکترونی اسکنینگ و انتقالی انجام نشده است. بنابراین با توجه به اینکه خرگوش یك مدل رایج تحقیقاتی لیگامانهای اطراف زانو است (۱۰)، هدف از این تحقیق شناخت دقیق ساختمان لیگامان متقاطع قدامی با به کار بردن روشهای فوق در خرگوش است.

مواد و روش کار

۳۰ راس خرگوش نر سالم نژاد DUTCH ، ۵ الی ۶ ماهه که از انستیتو پاستور ایران تهیه شده بودند، به روش استنشاق کلروفرم در فضای بسته کشته شدند. پس از تشریح مفصل زانوی راست آنها، اتصالات لیگامان متقاطع قدامی به آرامی از استخوانهای تیبیا و ران جدا شد و به وسیله روشهای میکروسکوپ نو ، ی، الکترونی اسکنینگ و انتقالی مطالعه شدند.

مطالعه به روش میکروسکوپ نوری : نمونه‌های لیگامانهای متقاطع قدامی کامل ده راس از خرگوشها بلافاصله پس از جداسازی از بدن آنها، در فرمالین سالین غوطه‌ور شده و پردازش بافتی گردید. به صورت عمودی و طولی درون قالب‌های پارافینی قالب‌گیری شده و به وسیله میکروتوم با تیغه ثابت برشهایی با ضخامت پنج میکرون زده شد. برشها با روش رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین و ائوزین رنگ شدند. در نمونه‌های عرضی (شش نمونه) سطح مقطع برشها به وسیله دستگاه میکروپروژکتور Ken-A-Vision ساخت آمریکا روی ورقه شفاف منتقل شد و توسط صفحه شطرنجی مساحت سطح مقطع محاسبه و بر بزرگنمایی میکروپروژکتور تقسیم شد. نمونه‌های طولی (چهار نمونه) لیگامان به روش توصیفی مطالعه شدند.

مطالعه به روش میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ : سری اول: نمونه‌های طولی لیگامان متقاطع قدامی کامل چهار راس از خرگوشها بلافاصله پس از جداسازی درون محلول گلوتارآلدئید سه درصد در بافر فسفات pH= ۷/۳ تثبیت و سپس درون اسید اسمیك یك درصد تثبیت ثانویه شدند. در ادامه به منظور مطالعه به روش استاندارد نمونه‌ها به مدت یك ساعت درون محلول بافر فسفات قرار داده شدند و طی این مدت محلول بافر پنج تا شش بار عوض شد.

سری دوم : به منظور مطالعه دقیق سطح ساختمان لیگامان و از بین رفتن غلاف و بافت همبند اطراف رشته‌های کلاژن از دو آنزیم هضم کننده هیالورونیداز و الاستاز استفاده شد. آنزیمها محصول شرکت Sigma Aldrich آمریکا بود. ۱۵۰۰ واحد پودر آنزیم هیالورونیداز درون ۱۵۰ میلی لیتر بافر سدیم استات با pH= ۵/۴ و مولاریته ۰/۱ حل شد. ۱۰ mg الاستاز در ۱۰۰ میلی لیتر بافر سدیم کربنات با pH= ۸/۸ و مولاریته ۰/۵ حل شد. چهار نمونه تازه لیگامان که بلافاصله پس از نمونه برداری ابتدا با محلول کلرورسدیم ۰/۹ درصد شستشو شده بودند، به مدت ۶ الی ۱۸ ساعت درون آنزیمهای هیالورونیداز و الاستاز در درجه حرارت ۳۷ ° C قرار گرفتند. نمونه‌ها سپس درون محلول گلوتارآلدئید سه درصد در بافر فسفات تثبیت و پس از آن با اسیداسمیك یك درصد تثبیت ثانویه شدند. در ادامه نمونه‌ها درون محلول استن با غلظتهای، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه قرار گرفته و آبگیری شدند. سپس نمونه‌ها درون ظرف حاوی (Isopentan (FLUKA قرار گرفته و به آرامی درون تانك حاوی ازت مایع فرو برده شدند

www.SID.ir

Archive of SID

و بلافاصله به دستگاه فریز درایر (Edward) منتقل شدند و به مدت حدود ۶ ساعت در درجه حرارت C ° ۲۰ - و در شرایط خلاء تحت مکش بودند و به این ترتیب نمونه‌ها به طور کامل خشك شدند. بعد از انجام مراحل فوق نمونه‌ها زیر استریومیکروسکوپ و توسط ترکیب چسب انتلان و پودر نیترات نقره به پایه‌های (stub) آلومینیومی میکروسکوپ چسبانده شدند. سپس سطح نمونه‌ها به وسیله ورقه نازکی از طلا به ضخامت حدود ۳۰ نانومتر توسط دستگاه sputter coater مارك SCD-OO5 پوشانده شد. نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ ZIESS DSM94OA ، ۱۵ KV مشاهده شدند. نمونه‌ها با بزرگنمایی ۱۰۰ الی ۵۰۰۰ برابر با میکروسکوپ بررسی و از نواحی مورد نظر با استفاده از فیلم سیاه و سفید KODAK 135 عکسبرداری شد.

مطالعه به روش میکروسکوپ الکترونی انتقالی: به منظور بررسی ضخامت مقاطع فیبریلهای کلاژن لیگامان از شش نمونه تازه لیگامان که با محلول کلرورسدیم شسته شده بودند، نوارهای طولی با ضخامت حدود یك میلی‌متر تهیه و درون محلول گلوتارآلدئید سه درصد در بافر فسفات (pH=۷/۳) تثبیت شد. سپس درون اسیداسمیك یك درصد تثبیت ثانویه شدند. نمونه‌ها درون الکل با غلظتهای افزاینده قرار گرفته و آبگیری و سپس رزین دهی شدند. قالبها توسط دستگاه اولترامیکروتوم LEICA ULTRCUT R برش زده شدند. ابتدا برشهای نیمه نازك (semithin) تهیه و رنگ‌آمیزی در محلول آبی تولوئیدین بلو یك درصد انجام شد و از موقعیت صحیح نمونه اطمینان حاصل گردید. سپس برشهای خیلی نازك (Ultrathin) به ضخامت ۹۰-۶۰ نانومتر تهیه و روی گریدهای (Grids) مسی قرار داده شدند و رنگ‌آمیزی دوگانه توسط محلول اشباع استات اورانیوم و محلول سیترات سرب انجام شد. نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی انتقالی ZIESS EM900 با بزرگنمایی ۴۴۰۰ الی ۱۲۰۰۰ برابر مشاهده و از نواحی مورد نظر با استفاده از فیلم کداك ۱۲۰ عکسبرداری و به صورت توصیفی و کمّی مطالعه شدند. به منظور انجام مطالعه کمّی قطر بر اساس روش Hart et al (۹) و Moeller et al (۱۲)، در ۲۹۰۰-۱۰۰۰ فیبریل کلاژن، ابتدا بزرگنمایی عکس چاپ شده نسبت به فیلم عکاسی محاسبه شد و این بزرگنمایی در بزرگنمایی میکروسکوپ‌الکترونی ضرب و بزرگنمایی نهایی به دست آمد. سپس کمترین هر قطر فیبریل کلاژن به وسیله خط‌کش مدرج میلیمتری اندازه‌گیری و میانگین و انحراف معیار و حداقل و حداکثر قطر هر فیبریل و دامنه قطر آنها با کمك برنامه نرم‌افزاری SPSS در فیبریلهای هر نمونه و کل ۶ نمونه محاسبه شد و کل قطرهای مورد بررسی به زیر گروههایی تقسیم و فراوانی قطرهای مورد بررسی و درصد قطر مورد نظر از کل قطرهای مورد بررسی و درصد تجمعی آنها محاسبه شد.

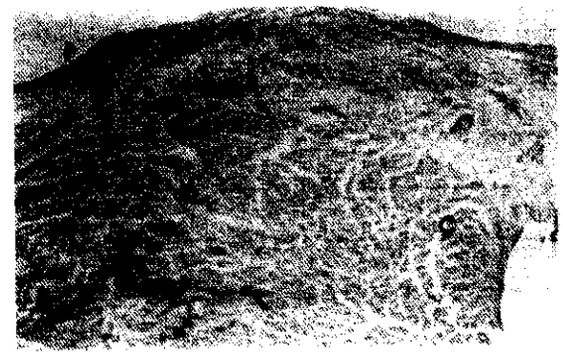
نتایج

نتایج مطالعه به روش میکروسکوپ نوری در دو بخش مطالعه توصیفی و کمی تنظیم و در بخش مطالعه توصیفی نمونه‌ها به دو صورت برشهای عرضی و طولی بررسی شدند. در تمام برشهای عرضی، شکل لیگامان تقریباً بیضوی بوده و از دو ناحیه کاملاً متفاوت تشکیل شده است. یك قسمت بافت همبند سست احاطه کننده رشته‌های کلاژن و قسمت دیگر دستجات رشته‌های کلاژن تشکیل دهنده لیگامان است (شکل ۱). بافت همبند احاطه کننده کل لیگامان (پری‌تنون) که کل رشته‌های تشکیل دهنده لیگامان را درون یك مجموعه در بر گرفته بود، قابل مشاهده است (شکل ۱).

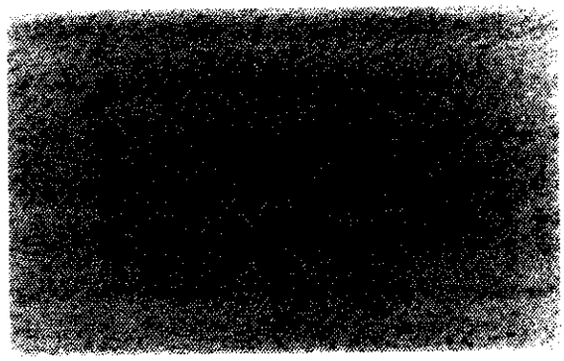
در برخی از برشهای طولی دسته‌های کلاژن امتداد مستقیم داشته و در برشهای دیگر به صورت مواج هستند. در محل اتصال لیگامان به استخوان نمای ظاهری بافت تغییر و نمای غضروف فیبرو را پیدا می‌کند. تعداد سلولها بیشتر و دسته‌های کلاژن پراکنده می‌شوند. سلولها به شکل بیضوی بوده و توسط فضاهای مشابه با لاکونای غضروف احاطه می‌شوند. سلولها به صورت ردیف و پشت سر هم قرار می‌گیرند (شکل ۲). اندازه‌گیری سطح مقطع لیگامانها در شش نمونه خرگوش نشان

www.SID.ir

Archive of SID

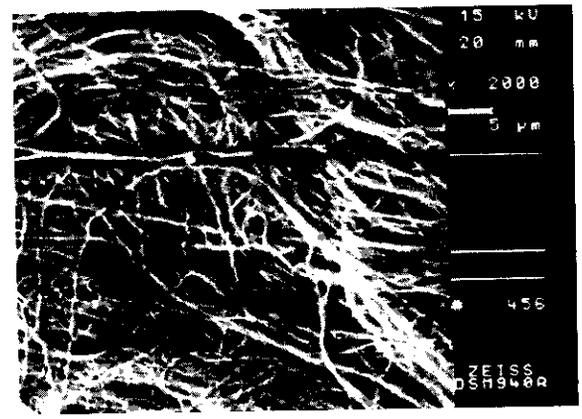


شکل ۱: مقطع عرضی لیگامان متقاطع قدامی. L = قسمت بافت همبند سست، C = قسمت مقطع عرضی رشته‌های کلاژن، P = پری‌تنون (رنگ‌آمیزی H&E ، بزرگنمایی ۳۲ برابر).

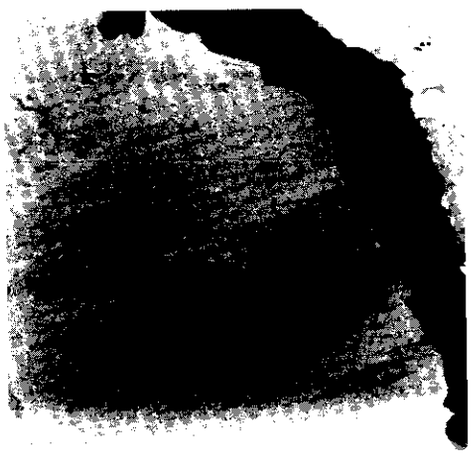


شکل ۲: مقطع طولی لیگامان در محل اتصال به استخوان. به سلولهای غضروفی (*) توجه نمائید (رنگ‌آمیزی H&E ، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر).

شکل ۳: سطح لیگامان با میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ که با روش استاندارد آماده شده است. به رشته‌های کلاژن (F) در قطرهای متفاوت و چگونگی بافته شدن آنها به یکدیگر و فضای بین آنها (I) توجه نمائید (بزرگنمایی میکروسکوپ ۲۰۰۰ برابر).



شکل ٤: سطح لیگامان با میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ پس از آماده سازی آنزیمی لیگامان. به آرایش توری مانند و سه بعدی و جهت متفاوت بعضی از دسته‌ها توجه نمائید (بزرگنمایی میکروسکوپ ۲۰۰۰ برابر).



شکل ٥: میکروگراف الکترونی از مقطع عرضی لیگامان متقاطع قدامی که فیبریلها (f) و دسته‌های کلاژن (F) را نشان می‌دهد.به بافت همبند سست بین دسته‌های کلاژن (L) توجه نمائید (بزرگنمایی نهایی ۱۸٤۸۰ برابر می‌باشد).

www.SID.ir

Archive of SID

داد کـه میـانگین سـطح مقطـع لیگامـان متقـاطع قدامـی ۱/۹۳ ± ۱۳/۰۸ میلیمتر مربع می‌باشد.

نتـایج بررسـی لیگامـان بـه روش اسـتاندارد توسـط میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ نشان می‌دهـد کـه لیگامـان متقاطع قدامی از دستجات متشکل از رشته‌های کلاژن مواج و در هم بافته تشکیل می‌شود که جهت اصلی آنهـا بـه مـوازات محور طویل لیگامـان اسـت و آرایـش، جـهت و قطـر آنهـا بـا یکدیگر متفاوت اسـت (شـکل ۳). همچنـین فضـای خـالی بـین دسته‌های کلاژن قابل مشاهده می‌باشد.

پس از تیمار لیگامان با آنزیمهای هیـالورونیداز و الاسـتاز می‌توان مشـاهده نمـود کـه لیگامـان متقـاطع قدامـی آرایـش پیچیده‌تری نسبت به آنچه تاکنون مشاهده شد، دارد.در شـکل ۴ پس از اعمـال اثـر آنزیمـها و از بـین رفـتن مـاده زمینـه‌ای دستجات فرعی که روی دستجات اصلی تکیه کرده‌اند، مشاهده می‌شوند که مطالعه دقیقتر آنهـا نشـان می‌دهـد دارای مسـیر، جهت و آرایشهای متفاوتی هستند. همچنین دسته‌های کلاژن بـه طوری که در شکل مشاهده می‌شود که مجمـوع شـبکه تـوری مانند سه بعدی را تشکیل داده‌انـد. مطالعـه توصیفـی تصـاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی لیگامان نشان داد که دو قسـمت ساختمانی متفاوت در ساختمان لیگامان وجود دارد:

۱) بافت همبند سست پوشاننده لیگامان که استطاله‌های آن سبب جداسازی و تقسیم بندی ریزتر لیگامان می‌شود.

۲) فیبریلهای کلاژن که دارای مقاطع گرد تا بیضی هستند فضای بین فیبریلها به صورت ماده بی شکل و یکنواخت مشهود است (شکل ۵). نتایج حاصل از انـدازه‌گیری مقـاطع عرضـی فیبریلهای کلاژن به این شرح می‌باشد که:

تعداد مقاطع مورد بررسی در هر کدام از خرگوشها بین ۱۰۰۶ تا ۲۹۰۵ عدد و میانگین قطر آنها ۴۰ الی ۵۹/۸ نـانومتر بـود. تعداد کل مقاطع مورد بررسی ۱۰۲۲۳ عدد و میانگین کل قطر آنها ۲۰/۷ × ۴۹/۲ نانومتر بود. حداقل قطـر فیبریلـها ۱۳/۲ نانومتر و حداکثر قطر آنها ۱۲۵/۷ نانومتر بود کـه تقریبـاً بـه طور مساوی در این محدوده پخش شده‌اند.

بحث

مطالعه برشهای عرضی بـه وسـیله میکروسـکوپ نـوری، نمایانگر یك قسمتی بودن لیگامان بود، در حـالی کـه بـه دنبـال بررسی ماکروسکوپی لیگامان در نمونه‌های تثبیت شده سـگ و خرگوش و انسان نشان می‌دهد که لیگامان متقـاطع قدامـی از دو باند تشکیل شده است (۲). همچنین مشاهدات ماکروسکوپی نشان دهنده تقسیم بندی لیگامان متقاطع قدامی بـه دو قسـمت داخلی و خارجی است (۲۱)، اما با توجه به اینکه در مشـاهده مقاطع عرضی تحقیق حاضر بـه روش میکروسـکوپـی نـوری، وجود بافت همبند احاطه کننده کل لیگامان (پری‌تنـون) کـاملاً محرز و آشکار بود، به نظر می‌رسد باندها و قسـمت داخلـی و خارجی ذکر شده توسط سایر محققین بصورت لایـه‌های کـاملاً منظم نبوده و در همه مقاطع قابل مشاهده نمی‌باشند.

برشـهای طـولی مربـوط بـه بلوکـهای پـارافینی تحقیـق Strocchi et al نمایانگر دستجات موجی شکل ساخته شده از رشته‌های کلاژن بود (۲۰). این مشاهدات با نتایج مربـوط بـه تحقیق حاضر همخوانی دارد اما در برشهای طولی تحقیـق حـاضر دسته‌های کلاژن با امتدادهای مستقیم هم مشاهده شد کـه هـر چنـد مغـایر نتـایج Strocchi et al است امـا بـا نتـایج Yahia & Drovin که دسته‌های کلاژن با امتداد مسـتقیم را در نواحی عمقی‌تر لیگامان مشاهده کردند، همخوانی دارد (۲۲).

در برشهای میکروسکوپی نوری لیگامان کـه در نزدیکـی استخوان قرار دارند، سلولهای شبیه به غضروف مشـاهده شـد. هر چند به این یافته در تحقیق Strocchi et al کـه عنـوان مطالعه بافت‌شناسی و فراسـاختار لیگامـان متقـاطع قدامـی را داشت، اشاره نشد اما در تحقیق Clark & Sidles به وجـود این نوع سلولها در نزدیکی محل اتصـال لیگامـان بـه اسـتخوان اشاره شده است. مشاهده این سلولها تایید کننده وجود اسـترس در این ناحیه اسـت (۲). در تصـاویر میکروسـکوپ الکـترونی اسکنینگ که از سطح نمونه‌های تیمار شده با آنزیم تهیـه شـده بود، دستجات کلاژنی به صورت شبکه سه بعدی مشاهده شـد که تاکنون به آنها اشاره نشده اسـت و بـه نظـر می‌رسـد کـه

www.SID.ir

Archive of SID

الگوی سه بعدی لیگامان متقاطع قدامی را پیچیده‌تر از آنچه که تاکنون تصور می‌شد، ساخته‌اند.

Strocchi et al اختلاف بین ضخامت قطر فیبریلها را در تحقیق خود (۲۰) با تحقیق Danylchuck et al (۳) متذکر شدند اما دلیلی برای آن قائل نشدند. در تحقیق حاضر قطر فیبریلهای کلاژن بین ۱۳/۲ تا ۱۲۵/۷ نانومتر بود که تقریباً به طور مساوی بین این دو حد پخش شده‌اند و این از نظر توزیع فیبریلها با نتایج تحقیق Hart et al (۹) همخوانی دارد. قطر فیبریلها در تحقیق حاضر تقریباً با نتایج تحقیق Strocchi et al (۲۰) هم مشابه است اما با نتایج Danylchuck et al (۳) متفاوت است. دلیل احتمالی این تفاوت ممکن است روش مطالعه و اجرای تحقیق باشد. در تحقیق حاضر موارد زیر جهت افزایش دقت محاسبه قطر فیبریلهای کلاژن صورت گرفت:

الف) استفاده از روش میکروسکوپی الکترونی انتقالی برای محاسبه قطر فیبریلها (۲۰و۱۲و۹).

ب) به علت مارپیچی بودن مسیر رشته‌های کلاژن، حداقل قطر فیبریلها مبنای محاسبه قرار گرفت تا به دلیل جهت مایل فیبریلها قطر آنها اشتباه محاسبه نگردد (۱۲).

ج) در هر نمونه شمارش در بین ۱۰۰۰ الی ۲۹۰۰ فیبریل انجام شد تا از نظر آماری، کار دقیق‌تری صورت گیرد (۹).

توزیع قطرهای فیبریلهای کلاژن و میانگین قطرهای فیبریلهای بافت همبندی وابسته به عوامل متعددی است. جمعیت فیبریلهای کلاژن در طی دوران بلوغ، بی حرکتی و با افزایش درجه استرس روی بافت تغییر می‌کند. برخی از محققان پیشنهاد کرده‌اند میانگین قطر فیبریلهای کلاژن در بافت همبند در ارتباط با مقاومت در برابر حداکثر استرسهای مکانیکی است که اعمال می‌شود (۱۲).

از طرق قطر فیبریلها بیانگر عملکرد ویژه فیبریل است (۱۶). با افزایش سن و افزایش پیوندهای عرضی قطر فیبریلها هم افزایش می‌یابد و این به نوبه خود موجب افزایش قدرت کشش بافت می‌شود (۱۷) با توجه به موارد فوق منطقی به نظر می‌رسد که فرض نمائیم که گروههای مختلف فیبریلها عملکردهای متفاوتی دارند. فیبریلهای با قطر زیاد برای مقاومت در مقابل قدرت کشش مناسب هستند و فیبریلهای با قطر کم ساختمان سه بعدی لیگامان را حفظ می‌کنند. در نتایج تحقیق حاضر فیبریلهای با قطرهای مختلف مشاهده شد که هر دو نوع عملکرد را برای لیگامان امکان‌پذیر می‌سازد.

لیگامان متقاطع قدامی خرگوش دارای الگوهای آرایش رشته‌های کلاژن در هم بافته طولی و شبکه سه بعدی رشته‌های کلاژن است. علیرغم اینکه فیبریلهای کلاژن از نظر قطر، دامنه وسیعی دارند ولی تقریباً به طور مساوی در یك محدوده پخش شده‌اند.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر نتیجه طرح تحقیقاتی شماره ۱۶۱۱ حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است. نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از آن معاونت و همکار محترم جناب آقای دکتر کاظمی و بخش میکروسکوپ الکترونی بیمارستان یقیه‌الله تهران و مرکز تحقیقات بیولوژی سلولی و مولکولی دانشگاه متبوع و دکتر فروزنده مقدم و خانم زرندی از دانشگاه تربیت مدرس اعلام می‌دارند.

References

1. Arcand M. A., Rhlami S., Rivard C. H., 2000, Quantification of mechanoreceptors in the canine anterior cruciate ligament, Int. Orthop., 24(5): 272-5.
2. Clark J. M., Sidles J. A., 1990, The interrelation of fiber bundles in the anterior cruciate ligament, Orthop. Res., 8 : 180-188.
3. Danylchuk K. D., Finlay J. B., Kreck J. P., 1978, Microstructural organization of human and bovine cruciate ligament's , Clin. Orthop. Relat. Res., 131:294-298.
4. Dodds J. A., Arnoczky S. P., 1994, Anatomy of the anterior cruciate ligament: a blue print for repair and reconstruction, Arthroscopy, 10(2): 132-139.
5. Flint M. H., Craig A. S., Reilly H. C., Gillard G. C., Parry D. A. D., 1984, Collagen fibre diameters and glycosaminoglycan content of skin indices of tissue maturity and function, Connect. tissue Res., 13,69-81.
6. Frank C. Woo S. L.Y., Andriacchi T., Brand R., Oakes B., Dahners L., De Heven K., Lewis J., Sabiston P., Normal ligament: structure of function and composition, in: Woo S.L. Y.,

www.SID.ir

Archive of SID

Buckwalter J. (eds), Injury and repair of muscloskeletal soft tissues, American Academy of Orthopaedic Surgeons, Park Ridge,1988, 45-101.

7. Fuss F., 1991, Anatomy and function of the cruciate ligaments of the domestic pig (suss crofa domestica) a comparision with human cruciates, J. Anat., 178:11-20.
8. Harner C. D., Livesay G. A., Kashiwaguchi S., Fujie H., Choi N. Y., Woo S. L., 1995, Comparative study of the size and shape of human anterior and posterior cruciate ligament, Orthop. Res., 13:429-434
9. Hart R. A., Akeson W. H., Spratt K., Amiel D., 1999, Collagen fibril diameter distributions in rabbit anterior cruciate and medial collateral ligaments: changes with maturation, Iawa Orthop. J., 19:66-70.
10. King G. J. W., Edwards P., Brant R. F., 1999, Intraoperative graft tensioing alerts viscoelastic but not failure behavior of rabbit collateral ligament out graft, J. Orthop. Res., 13:915-922.
11. Lo I. K., Ou Y., Rattner J. P., Hart D. A., Marchuk L. L., Frank C. D., Rattner J. B., 2002, The cellular networks of normal ovine medial collateral and anterior cruciate ligaments are not accurately. recapitulated in scar tissue, J. Anat., 200(pt3):282-96.
12. Moeller H. D., Bosch U., Decker B., 1995, Collagen fibril diameter distribution in patellar tendon autograft after posterior cruciate ligament reconstruction in sheep: change over time, J. Anat., 187: 161-167.
13. Mommersteeg T. J. A., Kooloos J. G., Blankvoort L., Huiske R., Roling F. Q. C., 1995, The fibre bundle anatomy of human cruciate ligaments, J. Anat., 187:461-471.
14. Murrary M. M., Martin S. D., Martin T. L., Spector M., 2000, Histological changes in the human anterior cruciate ligament of rupture, J. Bone Joint Surg. Am., 82 A (10): 1387-1397.
15. Neurath M. F., Printz H., Stofft E., 1994, Cellular ultrastructure of the ruptured anterior cruciate ligament, Acta Orthop. Scand., 65(1): 71-76.
16. Neurath M. F., Stoffi E., 1992, Collagen ultrastructure in ruptured cruciate ligaments, Acta Orthop. Scand., 63 :507-510.
17. Nimni M. E., 1983, Collagen structure, function and metabolism in normal and fibrotic, Semin in Arthritis and Rheum, 13 (1):1-86.
18. Ohno K., Pamaybo A., Schmidt C. C., Levine R. E., Ohland K. J., Woo S. L. Y., 1995, Healing of the medial collateral ligament after a combined medial collateral and anterior cruciate ligament injury and reconstruction of the anterior cruciate ligament: comparsion of repair and nonrepair of medial collateral ligament in rabbits, J. Orthop. Res., 13:442-449.
19. Pangabi M. M., Courtney T. W., 2001, High-speed subfailure stretch of rabbit anterior cruciate ligament: changes in elastic, failure and viscoelastic characteristic, Clin. Biomech., 16(4): 334-40.
20. Strocchi R., Depasquale V., Gubellini P., Faccini A., Marcacci M., Buda R., Zaffagninis, Rugger A. 1992, The human anterior cruciate ligament : histological and ultrastractural observation, J. Anat., 80: 515-519.
21. Woo S. L. Y., Newton P. O., Mackenna D. A., Lyon R. M., 1992, A comparative evaluation of the mechanical properties of the rabbit medial collateral and anterior cruciate ligaments, J. Biomech, 25: 377-386.
22. Yahia L. H., Drovin G., 1989, Microscopical investigation of canine anterior cruciate ligament and patellar tendon collagen fascicle morphology and architecture, J. Orthop. Res., 7:243-251.