

بررسی مسیر حرکتی استخوان کشکک در زوایای متوالی دامنه حرکتی زانو در بیماران مبتلا به جابجایی خارجی استخوان کشکک و افراد سالم

دکتر شاهین گوهرپی (دکترای فیزیوتراپی)*، دکتر محمود جبل عاملی (استادیار)**- دکتر حسین کریمی (استادیار)*، دکتر همایون هادیزاده خرازی (استادیار)***، دکتر اسماعیل ابراهیمی تکامجانی (دانشیار)*
* عضو هیئت علمی دانشکده توانبخشی، گروه فیزیوتراپی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
** عضو هیئت علمی، گروه ارتوپدی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
*** عضو هیئت علمی، گروه رادیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی ایران

چکیده

مقدمه: اختلالات مفصل پاتلوفمورال یکی از شایعترین علل مراجعه بیماران به درمانگاههای ارتوپدی و فیزیوتراپی بوده که عمدتاً با درد قدامی زانو مطرح می‌باشند. یکی از علل ایجاد کننده درد قدامی زانو، جابجایی خارجی کشکک ناشی از ضعف عضله پهن مایل داخلی و یا کوتاهی ساختارهای خارجی مانند رتیناکولوم خارجی و یا ایلیوتیبیال باند می‌باشد. برای ارزیابی و تشخیص دقیق این ضایعه نیاز به بررسی‌های پاراکلینیک مانند رادیوگرافی ساده، سی‌تی‌اسکن و یا MRI می‌باشد. اشکال رادیوگرافی ساده در این بوده که فقط قادر به نمایش دادن وضعیت استخوان کشکک نسبت به ناودان بین کندیلی استخوان ران در یک زاویه و در یک تصویر است. امروزه با پیشرفت سیستمهای MRI تصویر برداری در زوایای مختلف دامنه حرکتی تحت عنوان MRI کینماتیک توسعه یافته که می‌تواند موقعیت استخوان کشکک را نسبت به استخوان ران در زوایای متوالی نشان دهد. هدف از این تحقیق بررسی وضعیت استخوان کشکک توسط MRI کینماتیک در ۵ زاویه متوالی (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه) از دامنه حرکتی مفصل زانو در بیماران مبتلا به جابجایی خارجی استخوان کشکک می‌باشد.

مواد و روشها: این بررسی بر روی ۱۰ فرد سالم و ۳۰ بیمار مبتلا به جابجایی خارجی کشکک انجام شده است.

یافته‌ها و نتیجه گیری: نتایج نشان داد در گروه بیماران، استخوان کشکک بیشترین ثبات را در زاویه ۶۰ درجه فلکسیون داشته و با کاهش دامنه حرکتی به سوی اکستانسیون کامل، کشکک به سوی خارج جابجا شده و بیشترین بی‌ثباتی را در زوایای صفر تا ۲۰ درجه دارد.

مقدمه

از مهم‌ترین علل درد مفصل پاتلوفمورال، اختلال حرکت مناسب استخوان کشکک در راستای اصلی خود می‌باشد که عمدتاً ناشی از عدم تعادل بین قدرت عضلات ثبات دهنده داخلی و خارجی آن است (۱،۲). با توجه به شکل استخوانی ناودان تروکله آ^۱ ران، استخوان کشکک در یک مسیر منحنی با تقعر رو به خارج حرکت می‌کند. بطوریکه در اکستانسیون کامل، کشکک در سمت خارج قرار گرفته و با شروع خم شدن مفصل زانو به سوی داخل می‌رود. در ۹۰ درجه فلکسیون در سمت داخل قرار داشته و تا ۱۳۵ درجه فلکسیون مجدداً به سوی خارج حرکت میکند (۳). اگر استخوان کشکک در این مسیر حرکت کند اصطلاحاً دارای Tracking طبیعی می‌باشد، در غیراینصورت دچار Mal Tracking شده است (۳).

یکی از سندرم‌های بسیار دردناک در مفصل پاتلوفمورال سندرم فشار بیش از حد فاست خارجی^۲ کشکک است که در آن استخوان کشکک به علت دینامیکی (مانند ضعف عضله پهن مایل داخلی) و یا علل ساختاری (مانند کوتاهی رتیناکولوم خارجی یا کوتاهی ایلئوتیبیال باند) به سوی خارج کشیده شده و در طول دامنه حرکتی به کندیل خارجی استخوان ران برخورد کرده و به مرور زمان بدنبال بروز تغییرات تخریبی در غضروف زیر کشکک درد ایجاد می‌گردد. (۴) در واقع استخوان کشکک دچار جابجایی خارجی^۳ شده است. برای تشخیص جابجایی خارجی کشکک از نماهای استاندارد Radیوگرافی ساده مانند Laurin, Merchant و یا Hughston استفاده می‌شود. این نوع از رادیوگرافی قادر به نمایش دادن وضعیت استخوان کشکک نسبت به ناودان تروکله آران در یک زاویه از دامنه حرکتی می‌باشد. ایراد اصلی بر رادیوگرافی ساده در این است که قادر به نمایش دادن وضعیت استخوان کشکک نسبت به ناودان تروکله آ ران در طول دامنه حرکتی مفصل زانو نمی‌باشد (۵) از سال

۱۹۹۸ با پیشرفت تجهیزات MRI، بررسی وضعیت استخوان کشکک و مسیر حرکتی آن در داخل ناودان تروکله آغاز گردید (۶). مزیت این روش عدم استفاده از اشعه یونیزان و تصویربرداری متوالی در مقاطع چند گانه بوده که در کل قادر به نشان دادن Tracking استخوان کشکک می‌باشد. چون استخوان کشکک بعد از زاویه ۴۰ درجه فلکسیون وارد ناودان تروکله آران شده و با افزایش دامنه حرکتی در عمق این ناودان قرار می‌گیرد، دارای ثبات بیشتری می‌گردد، (۳) لذا تصویر برداری از زاویه ۴۰ تا ۱۳۵ درجه فلکسیون دارای ارزش زیادی نمی‌باشد. اما در زوایای اولیه خصوصاً در زاویه صفر تا ۳۰ درجه که برای مفصل پاتلوفمورال زاویه بحرانی^۴ خوانده می‌شود، به علت اینکه استخوان کشکک از ناودان تروکله آ بیرون می‌آید، بی ثبات شده و تحت تأثیر نیروهای وارد بر آن خصوصاً بردار خارجی زاویه Q قرار گرفته و به سوی خارج کشیده می‌شود (۷). به همین دلیل می‌بایست تصویربرداری در زوایای اولیه از دامنه حرکتی مفصل زانو که استخوان کشکک در بی ثبات ترین وضعیت خود می‌باشد، انجام گیرد و از روی تصاویر حاصله، شاخصهای زاویه پاتلوفمورال خارجی، زاویه Tilt خارجی و میزان جابجایی خارجی کشکک اندازه گیری شود (۸).

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع شبه تجربی و کاربردی بر روی ۱۰ فرد سالم و ۳۰ فرد بیمار مبتلا به جابجایی خارجی استخوان کشکک در محدوده سنی ۱۸-۳۰ سال ($23/8 \pm 4/3$) و دارای وزن $61/37 \pm 9/94$ و قد $171/13 \pm 5/75$ انجام شده است. هیچکدام از شرکت کنندگان در این بررسی سابقه فعالیت ورزشی حرفه ای، ضایعات عصبی-عضلانی اندام تحتانی، سابقه جراحی مفصل زانو و یا دررفتگی حاد استخوان کشکک نداشته‌اند. با توجه به اینکه بیومکانیک مفصل پاتلوفمورال و راستای حرکتی استخوان کشکک در هر دو جنس یکسان است (۹،۱۰)

¹ Trochlear groove

² Lateral Facet Hyper Pressure Syndrome

³ Lateralization

⁴ Critical Angle

ضخامت هر مقطع ۷ میلی متر، میدان دید ۳۸ سانتی متر، Flip Angle ۳۰ درجه، ماتریس ۱۲۸ × ۱۶۰، فاصله بین مقاطع ۰/۷ میلی متر و تعداد تصاویر در هر مقطع ۶ عدد (۱۲).

پس از تصویربرداری از روی تصاویر MRI، زوایای پاتلوفمورال خارجی و تیلت خارجی (Passive Positioning (میزان جابجایی خارجی کشکک (Lateral Patellofemoral Angle) و زاویه ناودانی (Sulcus Angle) اندازه گیری گردید. مقادیر طبیعی شاخصهای فوق عبارتند از: زاویه پاتلوفمورال خارجی ۲۶-۱۴ درجه، زاویه تیلت خارجی ۵-۰ درجه، میزان جابجایی خارجی کشکک ۲-۰ میلی متر و زاویه ناودانی ۱۴۷-۱۳۰ درجه (۸،۱۴،۱۵).

یافته‌ها

متغیرهای اصلی در این بررسی زوایای پاتلوفمورال خارجی و تیلت خارجی کشکک، میزان جابجایی خارجی کشکک و زاویه ناودانی بوده که در دو گروه افراد سالم و بیماران مبتلا به جابجایی خارجی استخوان کشکک توسط MRI کینماتیک اندازه گیری شده است. آزمونهای آماری شامل محاسبه شاخصهای تمایل مرکزی و پراکندگی متغیرها، و آزمون T مستقل جهت مقایسه متغیرها در بین دو گروه بوده است. آزمون K-S (Kolmogrov-Smirnov) نیز نشان داد که توزیع متغیرها منطبق با توزیع نظری نرمال بوده است. در جدول شماره ۱ مقدار متغیر زاویه پاتلوفمورال خارجی در افراد سالم و بیمار و در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی زانو آورده شده است. جدول شماره ۲ مقدار زاویه Tilt اندازه گیری شده از روی تصاویر MRI را در افراد سالم و بیماران مبتلا به جابجایی خارجی کشکک در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی زانو نشان میدهد. در جدول شماره ۳ میزان جابجایی خارجی کشکک در افراد سالم و بیماران و در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی زانو آورده شده است.

لذا در این بررسی نیز از هر دو جنس شرکت داشته اند (در گروه افراد سالم ۶ مرد و ۴ زن و در گروه بیماران ۱۳ مرد و ۱۷ زن).

معیار انتخاب بیماران عبارت بوده از:

۱- وجود درد در سمت خارجی کشکک که حداقل در دو فعالیت از مجموعه فعالیتهای زیر درد تشدید گردد: چمباتمه زدن، دو زانو نشستن، از پله بالا و پایین رفتن، انقباض ایزومتریک حداکثر عضله چهارسر رانی و نشستن طولانی مدت.

۲- وجود Tilt خارجی استخوان کشکک در نمای Laurin. فرد سالم به کسی گفته می‌شد که هیچگونه دردی با انجام تستهای اختصاصی مفصل پاتلوفمورال نداشته و رادیوگرافی Laurin نیز حاکی از عدم وجود Tilt در کشکک بوده است.

برای انجام MRI کینماتیک یک وسیله کاملاً غیر فلزی^۱ از جنس پلاستیک، چرم و چوب طراحی و ساخته شد و در سمت خارج آن یک گونیامتر چوبی جهت بررسی زاویه مفصل زانو تعبیه گردید. پس از خوابیدن بیمار در وضعیت Supine بر روی تخت اسکنر دستگاه MRI، اندام تحتانی طوری بر روی این وسیله قرار می‌گرفت که مرکز مفصل زانو منطبق بر مرکز آن بوده، استخوان ران توسط دو باند ولکرو و استخوان ساق توسط یک باند ولکرو به آن ثابت می‌گردید. جهت تشدید جابجایی خارجی استخوان کشکک یک کیسه وزنه شنی یک کیلوگرمی بر روی انتهای پایینی ساق پا بسته شده تا انقباض عضله چهارسر رانی در برابر نیروی خارجی اعمال شده و بهتر بتواند استخوان کشکک را به سوی خارج جابجا نماید. روش کار مطابق با روش Shellock و Powers و بصورت وضعیت دهی غیر فعال همراه با انقباض ارادی عضله چهارسر رانی بوده است (۶،۱۱،۱۲،۱۳).

پارامترهای سیستم MRI جهت تصویربرداری بدین قرار بوده اند: شدت میدان ۱/۵ تسلا، فرکانس ۶۴ مگاهرتز، تصاویر Plan Axial، TR = 9/3 و TE = 4/5 میلی ثانیه،

¹ Non ferromagnetic

خارجی، جابجایی خارجی کشکک وزاویه ناودانی در بین دو گروه در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی زانو می‌باشد ($\alpha = 0/05$).

جدول شماره ۴ مقدار زاویه ناودانی را در افراد سالم و بیماران مبتلا به جابجایی خارجی کشکک در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی زانو نشان می‌دهد.

جدول شماره ۵ نمایانگر نتایج حاصل از فرضیه HO مبنی بر یکسان بودن میانگین شاخصهای پاتلوفمورال خارجی، تیلت

جدول شماره ۱- میانگین زاویه پاتلوفمورال خارجی در افراد سالم و بیمار و در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی مفصل زانو

	LPFA ANGLE				
	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
سالم	۱۲/۵±۱/۵۱	۱۴/۱±۱/۲۸	۱۴/۸±۱/۶۲	۱۴/۸±۱/۸۱	۱۵/۶±۰/۹۶
بیمار	۷/۷±۴/۱۶	۱۰±۴/۲	۱۱/۹±۲/۸۴	۱۳/۹۶±۲/۸۵	۱۴/۹۶±۳/۲۳

جدول شماره ۲- مقدار متوسط زاویه Tilt استخوان کشکک در افراد سالم و بیماران مبتلا به جابجایی خارجی کشکک در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی مفصل زانو

	TILT ANGLE				
	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
سالم	۳/۱±۱/۵۲	۲/۲±۰/۹۲	۱/۹±۰/۷۳	۱/۴±۰/۶۹	۱/۲±۰/۷۸
بیمار	۱۶/۴±۶/۲۵	۱۴/۹±۵/۰۲	۱۴/۲۶±۴/۵۸	۱۱/۶±۳/۴۳	۱۱/۳±۳/۵۳

جدول شماره ۳- میزان جابجایی خارجی کشکک در افراد سالم و بیمار و در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی مفصل زانو (بر حسب میلی متر)

	DISPLACEMENT				
	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
سالم	۲/۳±۰/۶۷	۱/۶±۰/۶۹	۱/۷±۰/۸۲	۰/۹±۰/۸۷	۰/۴±۰/۸۴
بیمار	۷/۵±۲/۱۴	۶/۱±۲/۲۴	۴/۷±۲/۵۸	۳/۲۶±۲/۶۵	۲/۶۱±۲/۵۹

جدول شماره ۴- مقدار زاویه ناودانی در افراد سالم و بیماران مبتلا به جابجایی خارجی کشکک در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی مفصل زانو

	SULCUS ANGLE				
	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
سالم	۱۴۰/۶±۶/۹	۱۳۶/۲±۷/۲	۱۳۳/۴±۵/۶	۱۳۳/۴±۵/۶	۱۳۰/۱±۴/۱
بیمار	۱۳۹/۸۳±۷/۴۶	۱۳۶/۳۶±۷/۶۵	۱۳۲/۱±۷/۳۲	۱۳۰/۶±۶/۲۷	۱۲۹/۸±۶/۰۵

جدول شماره ۵- نتایج حاصل از فرضیه HO مبنی بر یکسان بودن میانگین شاخصهای پاتلوفمورال خارجی، تیلت خارجی، جابجایی خارجی کشکک و زاویه ناودانی در بین دو گروه در پنج زاویه متوالی از دامنه حرکتی مفصل زانو

متغیر	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
زاویه پاتلوفمورال خارجی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	غیر معنی دار	غیر معنی دار
تیلت خارجی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
میزان جابجایی خارجی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
زاویه ناودانی	غیر معنی دار				

بحث

(۱۶ و ۱۳ و ۱۲ و ۱۱) علت اینکه در زوایای اولیه فلکسیون، کشکک بیشترین بی ثباتی را دارد برمیگردد به نوع زنجیره حرکتی حین تصویربرداری در داخل دستگاه MRI. چون عضله چهار سرانی در برابر وزنه یک کیلوگرمی و در زنجیره حرکتی باز فعال گردیده و در انتهای دامنه حرکتی اکستانسیون زانو، استخوان ساق با چرخش خارجی زانو راقفل می نماید، لذا برجستگی استخوان ساق به سوی خارج رفته، بردار خارجی عضله چهارسرانی را افزایش داده و استخوان کشکک تحت تأثیر این بردار خارجی مجبور به حرکت به سوی خارج گردیده است. (۱۷ و ۷) در گروه افراد سالم عامل مقابله کننده با این بردار رو به خارج عضله چهارسرانی، عضله پهن مایل داخلی است که قویتر بوده و مانع از جابجایی خارجی و بی ثباتی استخوان کشکک می گردد. (۱۱)

مطالعات قبلی نیز بیشترین میزان بی ثباتی استخوان کشکک را در زوایای صفر تا ۳۰ درجه ذکر نموده است.

(۱۶ و ۱۲ و ۲) همچنین یک رابطه معکوس بین اندازه زاویه پاتلوفمورال خارجی و میزان جابجایی خارجی استخوان کشکک مشاهده گردید. بطوریکه با افزایش زاویه پاتلوفمورال خارجی، از میزان جابجایی خارجی کشکک کاسته شده و بالعکس. در تصاویر Axial زاویه پاتلوفمورال خارجی حاصل از تقاطع دوخط می باشد: خطی که مماس بر سطح زیرین فاست خارجی کشکک بوده و خطی که رئوس

بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده گردید که در هر دو گروه اندازه زاویه ناودانی در محدوده طبیعی خود بوده است. بدین معنا که علت درد ناشی از جابجایی استخوان کشکک در بیماران کم عمق شدن ناودان تروکله آ رانی نبوده، بعلاوه اینکه در تصاویر MRI نیز شکل استخوان کشکک و کندیلهای استخوان ران کاملاً طبیعی بوده است. با توجه به اینکه گروه بیماران دچار کوتاهی رتینا کولوم خارجی و یا کوتاهی ایلوتیبیال باند نیز نبوده اند، میتوان انتظار داشت که علت جابجایی خارجی استخوان کشکک در این گروه، ضعف عضله پهن مایل داخلی بعنوان ثبات دهنده اصلی دینامیکی کشکک می باشد. (۸ و ۷)

در گروه بیماران بیشترین میزان تیلت و جابجایی خارجی استخوان کشکک در زوایای صفر تا ۳۰ درجه بوده و بعد از این زاویه، چون کشکک مجبور به تعقیب استخوان ساق می باشد، همراه با چرخش داخلی ساق به سوی داخل رفته و تقریباً در مرکز ناودان تروکله آ جای می گیرد. بطوریکه در زاویه ۴۰ درجه، استخوان کشکک دارای ثبات بیشتری می شود. یافته های حاصل از تصویربرداری کینماتیکی در این بررسی، منطبق با تحقیقات Shellock و Powers بوده است.

برجستگی استخوان ساق به سوی داخل، مقدار زاویه Q کاهش یافته و در این وضعیت، تاندون پاتلا، کشکک را به سوی داخل می‌برد. (۸) در واقع، این حرکت روبه داخل استخوان کشکک به شکل غیر فعال بوده و به همین دلیل در گروه افراد سالم میزان جابجایی خارجی کشکک به صفر نزدیک شده و در بیماران نیز از مقدار عددی آن کاسته شده است. همچنین مشاهده گردید که با افزایش دامنه حرکتی مفصل زانو، از میزان Tilt خارجی کشکک کاسته شده است. زاویه Tilt متأثر از پارامترهای جابجایی خارجی و چرخش استخوان کشکک می‌باشد، بطوریکه با خم شدن زانو، همراه با چرخش داخلی استخوان ساق، استخوان کشکک نیز حول محور قدامی - خلفی خود به سوی داخل چرخیده و این درحالیست که از میزان جابجایی خارجی آن کاسته می‌شود. (۷ و ۸) چرخش داخلی استخوان کشکک سبب کاهش میزان تیلت خارجی آن می‌شود. در مجموع این بررسی نشان داد که MRI به روش کینماتیک (که برای اولین بار در ایران انجام شده است) قادر به ترسیم مسیر حرکتی استخوان کشکک می‌باشد. همچنین مشخص گردید که در بیماران مبتلا به جابجایی خارجی کشکک، میزان زاویه پاتلوفمورال خارجی کم و اندازه زاویه تیلت خارجی بیشتر شده است، که می‌تواند علت درد قدامی مفصل زانو در این گروه از بیماران باشد.

قدامی کندیلهای فمور را بهم وصل می‌نماید. اگر این زاویه در محدوده ۲۶-۱۴ درجه بوده و به خارج باز شود، وضعیت استخوان کشکک مناسب می‌باشد و دارای ثبات کافی است. اگر خطوط تشکیل دهنده این زاویه با هم موازی شوند، به معنای نیمه دررفتگی کشکک بوده و اگر تحت هر شرایطی این زاویه روبه داخل باز گردد، استخوان کشکک دچار دررفتگی شده است. (۱۶)

پس مشخص می‌گردد که کاهش اندازه این زاویه به معنای بی ثباتی کشکک است، لذا باید همراه با جابجایی خارجی کشکک باشد. برعکس افزایش این زاویه همراه با حرکت استخوان کشکک به سوی داخل است که نشانه افزایش ثبات آن می‌باشد. در این بررسی مشاهده شد که در گروه بیماران در زوایای بحرانی اولیه (صفر تا ۳۰ درجه فلکسیون) از میزان زاویه پاتلوفمورال خارجی کاسته و جابجایی کشکک بیشتر شده و در زاویه ۴۰ درجه که زاویه پاتلوفمورال خارجی بیشتر گردیده، میزان جابجایی کشکک کمتر شده است. به عبارتی در زاویه ۴۰ درجه ثبات کشکک افزایش یافته. این افزایش ثبات دارای یک توجیه بیومکانیکی قوی می‌باشد. بدین صورت که در زنجیره حرکتی باز با افزایش فلکسیون زانو بدلیل حرکت سطح مفصلی مقعر استخوان ساق بر روی سطح مفصلی محدب کندیلهای فمور، یک چرخش داخلی در استخوان ساق رخ داده و با جابجایی

منابع

1. Nissen CW., Cullen MC., Hewett TE., Noyes FR. Physical and arthroscopic examination techniques of the patellofemoral joint. *JOSPT*, 28:277-285, 1998.
2. Doucette SA., Goble EM. The effect of exercise on patellar tracking in lateral patellar compression syndrome. *The American Journal of Sports Medicine*, 20:434-440, 1998.
3. Powers CM., Shellock FG., Pfaff M. Quantification of patellar tracking using kinematic MRI. *JMRI*, 8:724-732, 1998.
4. Doucette SA., Child DD. The effect of open and closed chain exercise and knee joint position on patellar tracking in lateral patellar compression syndrome. *JOSPT*, 23:104-110, 1996.
5. Kujala UM., Osterman K., Nelimarkka O., Hurme M., Taimela S. Patellofemoral relationships in recurrent patellar dislocation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 71-B:788-791, 1989.
6. Shellock FG., Mink JH., Fox JM. Patellofemoral joint: Kinematic MR Imaging to assess tracking abnormalities. *Radiology*, 168:551-553, 1988.
7. Mizuno Y., Kumagai M., Mattessich SM., Elias JJ. Q-angle influences tibiofemoral and patellofemoral kinematics. *Journal of Orthopaedic Research*, 19:834-840, 2001.
8. Powers CM. Patellar kinematics, Part II: The influence of the depth of the trochlear groove in subjects with and without patellofemoral pain. *Physical therapy*, 80:965-973, 2000.
9. Powers CM. Patellar kinematics, Part I: The influence of vastus muscle activity in subjects with and without patellofemoral pain. *Physical therapy*, 80:956-964, 2000.
10. Powers CM., Landel R., Perry J. Timing and intensity of vastus muscle activity during functional activities in subjects with and without patellofemoral pain. *Physical therapy*, 76:946-955, 1996.
11. Shellock FG., Mullin M., Stone KR., Coleman., Crues JV. Kinematic magnetic resonance imaging of the effect of bracing on patellar position: Qualitative assessment using an extremity magnetic resonance system. *Journal of athletic training*, 35:44-49, 2000.
12. Shellock FG., Powers CM. Kinematic MRI of the joints: Functional anatomy, Kinesiology, and clinical applications. 1st ed., New York: CRC Press., 149-165, 2001.
13. Shellock FG., Stone KR., Crues JV. Development and clinical application of kinematic MRI of the patellofemoral joint using an extremity MR system. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31:788-791, 1999.
14. Carson WG., James SL., Larson RL., Singer KM., Winternitz WW. Patellofemoral disorders: Physical and radiographic evaluation. *Clin. Orthop.*, 185:178-185, 1984.
15. Laurin CA., Dussault R., Levesque HP. The tangential X-Ray investigation of the patellofemoral joint. *Clin Orthop.*, 144:16-26, 1979.
16. Shellock FG., Foo TK., Deutsch AL., Mink JH. Patellofemoral joint: Evaluation during active flexion with ultrafast spoiled GRASS MR Imaging. *Radiology*, 180:581-585, 1991.
17. Lephart S.M., Fu F.H. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. 1st ed., USA. *Human Kinetics.*, 59-89, 2000.
18. Laurin CA., Levesque HP., Dussault R., Labelle H., Peides JP. The abnormal lateral patellofemoral angle. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 60-A:55-60, 1978.