مجله جراحی استخوان و مفاصل ایران
دوره هفتم، شماره ۲ (شماره مسلسل۲۷)، بهار ۱۳۸۸، صفحه‌های ۷۵-۷۰

Iranian Journal of Orthopaedic Surgery
Vol 7, No 2 (Serial No 27), Spring 2009:70-5

کنترل تعادل بدن در حالت ایستاده به‌دنبال شکستگی تنه استخوان ران

*دکتر محمد فکور، *دکتر محمدجعفر شاطرزاده، **دکتر سارا پذیرا
«دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور»

خلاصه

پیش‌زمینه: شکستگی تنه استخوان ران در همه گروه‌های سنی و با مکانیسم‌های مختلف دیده می‌شود. به‌دلیل نزدیک بودن محل شکستگی با مفصل زانو ـ به‌عنوان مفصل حد وسط ـ احتمال اختلال در سیستم کنترل وضعیت تعادل بدن وجود دارد و دلیل آن اشکال در ارسال پیام‌های مناسب از گیرنده‌های حس عمقی می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی نوع و میزان اختلال ایجاد شده در وضعیت تعادل بیمارانی بود که دچار شکستگی استخوان ران شده بودند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۱۵ بیمار با شکستگی منفرد تنه استخوان ران با میانگین سنی ۲۵/۵±۴/۷۶ سال که به روش جاانداری باز و ثابت‌سازی داخلی درمان شده بودند و ۱۵ فرد سالم به‌عنوان گروه کنترل، که بر مبنای سن، قد، وزن، جنس و شاخص توده بدنی(BMI) با گروه آزمون جور شده بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. از هر دو گروه خواسته شد که به ترتیب تصادفی بر روی صفحه گرد متصل کننده نیرو که توانایی انحراف در جهات مختلف را به میزان ۲۰ درجه دارد بایستند و توانایی حفظ ثبات در موقعیت‌های مختلف ایستادن اندازه‌گیری شد. شاخص‌های «محدوده ثبات» (limit of stability index) و «ضریب ثبات» (stability index) نیز با این دستگاه اندازه گرفته شد.

یافته‌ها: شاخص «ضریب ثبات» در کلیه موقعیت‌های آزمون در دو گروه با یکدیگر اختلاف معناداری داشتند در صورتی‌که از نظر شاخص «محدوده ثبات» در دو گروه و در کلیه موقعیت‌های آزمون اختلاف معناداری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: مشکل لنگش بیماران با شکستگی تنه استخوان ران، قرینه نبودن در تحمل وزن روی اندام‌های تحتانی و به‌دنبال آن اختلال در ثبات ایستا می‌باشد. از طرف دیگر عدم وجود اختلاف معنادار در شاخص «محدوده ثبات» دلیل ثابت کننده‌ای برای سلامت سیستم عصبی ـعضلانی است.

واژه‌های کلیدی: شکستگی تنه استخوان ران، ثبات وضعیتی، تثبیت داخلی شکستگی

دریافت مقاله: ۱۰ ماه قبل از چاپ ؛ **مراحل اصلاح و بازنگری:** ۳ بار ؛ **پذیرش مقاله:** ۲۰ روز قبل از چاپ

Postural Stability Following Femoral Shaft Fracture

*Mohammad Fakoor, MD; *Mohammad Jaafar Shaterzadeh, MD; **Sara Pazira, MD

Abstract

Background: Femur shaft fracture can occur with different mechanisms in all age groups. Patients often develop instability problems when fracture is close to knee which functions as intermediate joint. This has been attributed to dysfunction of proprioception receptors. In this research we tried to analyze the frequency and type of instability in patients following femur shaft fracture.

Methods: This study was carried out on 15 patients with isolated femoral shaft fracture within the range of 20-45 years of age treated by plate fixation and 15 healthy individuals as the control group that were matched with the previous group by age, height, weight and sex. Both groups were asked to stand on a round plate called “Biodex” (which is able to tilt in different direction) randomly. The “stability index” and “stability range” were measured.

Results: Our results showed that postural “stability index” in control group was statistically better in nearly all erect body positions. In contrast the difference in stability range in the two groups was not statistically significant.

Conclusion: The presence of statistically significant difference between the two groups in “stability index” and its absence in “stability range” among the two groups indicate that the major stability problem in patients with femoral shaft fracture is asymmetric weight bearing and consequently impairment in static stability. Also a healthy neuromuscular system is a convincing evidence for absence of statistically significant difference in “stability range index”.

Keywords: Femoral shaft fracture; Postural balance; Fracture fixation, internal

Received: 10 months before printing ; Accepted: 20 days months before printing

*Orthopaedic Surgeon, Orthopaedic Department, Jondishapour University of Medical Sciences, Ahvaz, IRAN.
**General Practitioner, Jondishapour University of Medical Sciences, Ahvaz, IRAN.

Corresponding author: Mohammad Fakoor, MD
Jondishapour University of Medical Sciences, International Branch Office, Ahvaz, Iran
E-mail: dr_m_fakoor@yahoo.com

مقدمه

سیستم کنترل وضعیت قرارگرفتن بدن در فضا[1] همواره توجه محققین را به خود جلب کرده و پژوهش‌های فراوانی در این‌باره صورت گرفته است و نتایج نشان داده‌اند که پیام‌های حسی- پیکری، بینایی و تعادلی به این سامانه سالم همیشه باعث تعادل صحیح و حفظ راستای مناسب بدنی می‌شود(۱). اما فرآیندهای درونی این سامانه هنوز کاملاً شناخته شده نیست(۲).

ثبات وضعیت قرارگرفتن بدن در فضا در واقع کنترلی است که برای نگاهداری مرکز ثقل کل بدن و هر یک از اجزای بدن وجود دارد. این ثبات برای حرکات موزون بدن در فضا الزامی است.

ضعف ماهیچه، اختلال در حس عمقی و یا کاهش دامنه حرکات مفصل عواملی هستند که توانایی شخص را برای حفظ ثبات و تعادل در بدن مختل می‌سازند؛ لیکن سیستم کنترل تعادل بدن در موقع لزوم از احساس‌های دیگر نیز می‌تواند بهره گیرد. برای مثال سیستم بینایی به‌خوبی می‌تواند نقش فعال‌تری را در ثابت نگاه‌داشتن تعادل بدن به‌عهده گیرد(۳).

همان‌طور که گفته شد در روند کنترل وضعیت، سیستم عصبی، اطلاعات حسی را از سه منبع بازخوردهای حسی- پیکری[2]، سیستم بینایی[3] و وستیبولار[4] دریافت می‌کند.

پیام‌های حسی- پیکری ارسالی از محیط برای کنترل وضعیت عمدتاً از طریق سیستم‌های جامع حسی عمقی شامل: گیرنده‌های حس عمقی در پوست، عضله، رباط‌های اطراف مفصل و پریوست استخوان انجام می‌گیرد. در نهایت این پیام‌ها به مراکز مخچه‌ای، تشکیلات مشبک و تالاموس جهت احساس حرکت و درک وضعیت مفصل به ناحیه پشت مرکزی نیمکره‌های مغزی هدایت می‌شود(۴).

بدیهی است ایجاد هرگونه اختلال یا ضایعه در هر یک از اجزاء ذکر شده، به‌طور ثانویه سبب اختلال در ارسال پیام مناسب، صحیح و به موقع و متعاقب آن اختلال در کنترل وضعیت و عملاً بی‌ثباتی می‌گردد(۵).

شکستگی تنه استخوان ران، یکی از اختلالاتی است که در سیستم عضلانی- استخوانی عوارضی ایجاد می‌نماید. به‌علاوه به‌دلیل مجاورت مکان ضایعه با مفصل زانو، به‌عنوان مفصل حد واسط، از یک سو و اختلال در ارسال پیام مناسب حسی از گیرنده‌های حس عمقی در محدوده ضایعه و مفصل زانو از سوی دیگر، موجب اختلال در کنترل وضعیت بیماران می‌گردد(۶).

«هرتل»[5] و همکاران در سال ۲۰۰۱ شاخص‌های «ثبات وضعیت» را در بیماران با پیچ‌خوردگی مچ پا بررسی کردند و دریافتند که در دو هفته اول پس از پیچ‌خوردگی، به علت اختلال در فرآیند حرکتی سامانه کنترل وضعیت، ثبات وضعیتی ایستاده این افراد دچار اختلال می‌گردد(۷).

همچنین «تژان»[6] و همکاران در سال ۲۰۰۰ طی بررسی بیماران پس از تعویض مفصل زانو به این نتیجه رسیدند که این گروه از بیماران برای حفظ ثبات وضعیتی خود به شکل جبرانی از داده‌های بینایی بیشتر استفاده می‌کنند(۸).

«کارلادانی»[7] و همکاران در سال ۲۰۰۰ ثبات وضعیتی را در بیماران با شکستگی تنه استخوان درشت‌نی مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که مرکز فشار و نقطه ثقل پس از بهبودی شکستگی به سمت اندام آسیب دیده متمایل می‌گردد(۹).

در این تحقیق برآن شدیم که شاخص‌های «ثبات وضعیتی» را در بیماران با شکستگی تنه استخوان ران که به روش جااندازی باز و تثبیت داخلی (ORIF) درمان شده بودند بررسی نماییم.

مواد روش‌ها

در یک کارآزمایی بالینی، ۱۵ بیمار که تحت جراحی شکستگی منفرد تنه استخوان با پیچ و پلاک قرار گرفته بودند (گروه آزمایشی) و ۱۵ فرد سالم که از نظر سن، قد، وزن، جنس

1. Postural control system
2. Somatosensory
3. Visual
4. Vestibular
5. Hertel
6. Tjon
7. karladani

و شاخص توده بدنی[1] با گروه آزمون جور شده بودند (گروه گواه) شرکت داده شدند. میانگین سنی گروه آزمایشی ۴/۷۶±۲۵/۵ سال و میانگین مدت زمان پس از جراحی ۳/۱±۹/۴ ماه بود.

ابتدا به منظور تعیین تکرارپذیری آزمون‌های تحقیق، آزمون‌ها برروی ۱۰ فرد سالم اجرا شد و ضریب محاسبه شده، تکرارپذیری در حد بسیار خوب تا عالی (r>۰/۸) را نشان داد.

برای اندازه‌گیری شاخص‌های ثبات از دستگاه تعادل‌سنج «بیودکس»[2] ساخت کشور کانادا استفاده شد. این دستگاه برای ارزیابی و ثبت میزان توانایی فرد در حفظ تعادل در شرایط پویا طراحی شده است. این وسیله دارای یک صفحه دایره‌ای شکل برای ایستادن فرد است که در جهات مختلف جلو- عقب و داخل- خارج آزادی حرکت دارد و قابلیت جابه‌جایی زاویه این صفحه حداکثر ۲۰ درجه است.

این دستگاه میانگین جابه‌جایی زاویه‌ای صفحه را در جهات مختلف به‌صورت ضریب ثبات جلو- عقب و داخل- خارج ثبت می‌کند و یک ضریب ثبات کلی نیز ارایه می‌دهد که نشان‌دهنده میانگین تمام حرکات صفحه است. این ضرایب نشانگر تغییرات زاویه سطح اتکا نسبت به حالت ثبات اولیه است. مثلاً ضریب ثبات کلی ۵ نشان می‌دهد که میانگین کل نوسان‌های زاویه‌ای سطح اتکا نسبت به حالت ثابت اولیه در طول زمان آزمون برابر ۵ درجه است.

علاوه بر ضرایب تعادلی، با این دستگاه محدوده ثبات در جهات مختلف شامل بیشترین زاویه تمایل بدن از حالت عمود پیش از به‌هم خوردن تعادل، مقدار طبیعی سطح اتکا (دوپا، پای سالم و پای دیگر)، وضعیت چشم‌ها (باز و بسته) و زانوها (خم و صاف) اندازه‌گیری شد.

همچنین محدوده ثبات کلی در دو گروه در چهار موقعیت مختلف با توجه به ترکیب سه وضعیت آزمایشی شامل: وضعیت چشم‌ها (باز و بسته)، زانوها (صاف و خم) و سطح اتکا (دوپا، پای درگیر) اندازه‌گیری شد.

برای هر یک از آزمودنی‌ها در دو گروه، موقعیت‌های آزمون شرح داده شد. سپس آزمون اجرا گردید و شاخص‌های «ثبات وضعیت» در صفحات حرکتی جلو- عقب، داخل- خارج و شاخص‌های ثبات کلی در هر یک از وضعیت‌های تعریف شده، با چشم باز و بسته در حالات زانوی صاف و خم و همچنین ایستاده روی یک یا هر دو پا اندازه‌گیری شدند.

همچنین شاخص «محدوده ثبات»[3] که نشان‌دهنده توانایی فرد در محدوده ثبات بود، در موقعیت‌های مختلف آزمون (ایستاده در روی یک یا هر دو پا و با زانوی خم و صاف) و با انتخاب تصادفی هر یک از موقعیت‌ها برای کلیه آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد.

همه آزمودنی‌ها برگه شرکت آگاهانه و داوطلبانه تأیید شده از سوی کمیته اخلاق در پژوهش معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز را تکمیل و وارد مرحله اصلی تحقیق شدند.

معیارهای ورود گروه آزمون به تحقیق عبارت بودند از: سن بین ۴۵-۲۰ سال، شکستگی منفرد تنه استخوان ران، درمان با روش جراحی و جااندازی باز و ثابت کردن داخلی، مدت زمان گذشت از شکستگی حداقل ۶ و حداکثر ۱۸ ماه، گذراندن حداقل یک دوره درمان فیزیوتراپی به مدت ده جلسه با روش درمانی یکسان، شدت درد ۳ یا کمتر براساس مقیاس دیداری درد[4]، دامنه حرکتی زانو با ۹۰ درجه خمیدگی و داشتن دامنه کامل باز شدن، و حداقل قدرت عضلانی عضله چهارسررانی درجه ۳ مثبت.

همچنین معیارهای خروج از تحقیق عبارت بودند از: وجود شکستگی‌های متعدد در اندام‌ها، وجود شکستگی چندقطعه‌ای، سابقه عفونت پس از شکستگی، تغییرشکل اندام تحتانی، وجود درد و محدودیت شدید حرکتی، وجود بیماری‌های سیستمیک و یا متابولیک، اختلال شناختی و تعادلی، مشکلات شدید بینایی و استفاده از داروهای آرام بخش تا یک هفته قبل از تحقیق.

1. Body Mass Index (BMI)
2. Biodex Balance System
3. Limit of stability
4. Visual Analogue Scale (VAS)

در بخش آمار توصیفی، شاخص‌های پراکندگی استخراج شدند. جهت مقایسه دو شاخص «محدوده ثبات» و «ضریب ثبات» در دو گروه، از آزمون پارامتری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر[1] استفاده و سطح معناداری ۰/۰۵ درنظر گرفته شد.

یافته‌ها

دو شاخص اندازه‌گیری شده با دستگاه بیودکس یعنی «محدوده ثبات» و «ضریب ثبات» در دو گروه آزمون و کنترل در تمامی حالات بدن، با یا بدون استفاده از حس بینایی (چشم بسته یا با چشم باز) مقایسه شدند. برای مثال جدول ۱ ضریب ثبات را در حالت ایستاده با زانوی خم در چند حالت متفاوت نشان می‌دهد. ارقام این «ضریب ثبات» در گروهی که شکستگی ران داشتند، چه در موقعیت یک یا دو پا ایستاده و چه با چشم بسته یا باز، تفاوت چشم‌گیری را نشان دادند و گویای کنترل تعادلی کمتری با معیارهای آماری معنی‌دار بودند.

در مقابل از نظر «دامنه ثبات» تفاوت چشم‌گیری بین دو گروه وجود نداشت (جدول۲).

1. Repeated Measure ANOVA

جدول ۳. شاخص‌های «ثبات وضعیت» در صفحات جلو- عقب و داخل - خارج و شاخص «ثبات کلی» در موقعیت‌های مختلف زانوی خم در دو گروه

جهات مختلف حرکت	گروه: بینایی / سطح اتکا	آزمون: چشم بسته M±SD	آزمون: چشم باز M±SD	کنترل: چشم بسته M±SD	کنترل: چشم باز M±SD
جلو به عقب	ایستاده بر روی دو پا	۵/۴۶±۳/۸۶	۲/۲۵±۱/۱۲	۸/۲±۵/۱۸	۵/۴۹±۲/۵۶
داخل به خارج		۴/۲۶±۳/۷۵	۱/۷۴±۰/۹۳	۶/۱۵±۴/۵	۴/۲۲±۲/۶۳
شاخص ثبات کلی		۶/۷۸±۲/۵۵	۲/۶۵±۰/۸۹	۱۰/۴±۵/۱	۶/۸۴±۲/۹۹
جلو به عقب	ایستاده برروی یک پا	۵/۸۴±۴/۰۰	۲/۸۴±۱/۴۴	۸/۰۴±۵/۳	۵/۵۸±۲/۸۷
داخل به خارج		۳/۰۶±۱/۹	۲/۰۹±۰/۸۹	۵/۶۴±۲/۶۷	۵/۸۶±۲/۱۰
شاخص ثبات کلی		۶/۴۲±۲/۵۶	۳/۴۶±۱/۰۶	۱۰/۵±۴/۲۱	۸/۴۵±۳/۱۳

جدول ۲. شاخص‌های «محدوده ثبات» در کلیه موقعیت های آزمون در دو گروه

موقعیت‌های آزمون	گروه: بینایی / سطح اتکا	آزمون: زانوی صاف M±SD	آزمون: زانوی خم M±SD	کنترل: زانوی صاف M±SD	کنترل: زانوی خم M±SD
کج شدن به جلو	ایستاده بر روی دو پا	۱۸/۱۴±۱۴/۹۹	۱۶/۶۴±۱۰/۷	۲۴/۹۲±۱۳/۴۴	۱۶/۶۴±۱۰/۷
کج شدن به عقب		۱۴/۰۷±۱۱/۰۶	۱۲/۱۴±۱۳/۱	۱۷/۵۷±۷/۷۶	۱۲/۱۴±۱۳/۱
کج شدن به راست		۲۰/۲۸±۱۱/۰۶	۱۹/۰۰±۱۶/۹۱	۲۱/۵±۱۰/۸۶	۱۹/۰±۱۶/۹۱
کج شدن به چپ		۲۳/۵۷±۲۳/۳۵	۲۱/۵±۱۶/۱	۱۸/۶۴±۸/۱۷	۲۱/۵±۱۶/۱
جمع میانگین		۱۶/۴۲±۱۲/۴۸	۱۶/۶۴±۱۳/۴۲	۲۱/۵±۱۲/۲۳	۲۳/۷۵±۱۴/۲۱
کج شدن به جلو	ایستاده برروی یک پا	۲۱/۴۲±۱۸/۳۵	۱۶/۶۶±۱۵/۰۰	۲۳/۱۴±۵/۸۸	۲۳/۰۷±۷/۷۵
کج شدن به عقب		۱۲/۵۳±۱۲/۱۴	۱۳/۰۰±۱۳/۶۶	۱۲/۱۴±۱۲/۵۳	۲۳/۱۷±۱۴/۴۱
کج شدن به راست		۲۸/۸۷±۲۲/۸۵	۲۰/۰۰±۲۹/۶۷	۲۲/۸۵±۲۸/۸۷	۲۱/۳۵±۱۶/۵۷
کج شدن به چپ		۱۶/۸۵±۱۵/۰۰	۱۴/۰۰±۱۶/۰۴	۱۶/۸۵±۱۵/۰۰	۱۸/۲۱±۱۳/۸۶
جمع میانگین		۱۸/۵۷±۱۸/۰۰	۱۵/۸۵±۱۶/۲	۲۱/۳۵±۴/۴۴	۱۹/۵۷±۱۳/۲۲

بحث

تنظیم ثبات وضعیتی با عوامل فعال، یعنی عملکرد سیستم اعصاب مرکزی[۱۰] و جابه‌جایی مرکز ثقل با حرکت اندام تحتانی ارتباط مستقیم دارند[۱۱]. ثبات در وضعیتی علاوه بر عوامل فعال، با عوامل غیرفعال نظیر سیستم استخوانی نیز مرتبط است. «هرتل» و همکاران نشان دادند که در دو هفته اول پس از پیچ‌خوردگی مچ پا، به علت اختلال در فرآیندهای حرکتی سامانه کنترل وضعیت، کنترل وضعیت ایستاده نیز مختل می‌شود[۷]. بیمارانی که تحت عمل جراحی تعویض مفصل زانو قرار گرفته‌اند، حس وضعیت مفصل‌شان کاملاً وابسته به حس بینایی شده بود و به‌همین دلیل بازخوردهای حسی از اندام تحتانی آسیب دیده بود. «کارلادانی» و همکاران نشان دادند که شکستگی‌های تنه استخوان درشت‌نی که با روش جراحی باز درمان شده بودند، در مقایسه با روش درمانی بسته از ثبات وضعیتی بهتری برخوردار می‌باشند[۹]. یافته‌های ما کاملاً با نتایج «هرتل» و همکاران همسو بود و نشان داد فرآیند ثبات وضعیتی و کنترل وضعیت با بخش استخوانی سیستم عصبی- عضلانی- استخوانی در ارتباط است و آسیب به بخش استخوانی می‌تواند موجب بروز اختلال در عملکرد سامانه کنترل وضعیت گردد. از آنجا که سامانه کنترل وضعیت به سه زیرسامانه: حس تعادل گوش داخلی، بینایی و حسی پیکری وابسته است و در شکستگی‌های تنه استخوان ران دو زیرسامانه تعادل گوش داخلی و بینایی سالم بوده و فقط زیرسامانه حسی- پیکری دستخوش تغییر می‌شود؛ لذا می‌توان دریافت که در پیام‌آوران از حس عمقی در شکستگی اختلال به‌وجود می‌آید. بیشترین میزان اختلال در دو گروه آزمون و شاهد، در کنترل مفصل مجاور به شکستگی (زانو) احتمالاً سبب بروز اختلال در موقعیت و ثبات وضعیتی این دسته از بیماران شد که خود باعث عدم اعمال قرینه وزن روی دو اندام تحتانی بود و می‌تواند ناشی از ترس حرکت کردن و یا ترس از درد در محل شکستگی باشد. لذا این امر سبب تمایل مرکز ثقل بدن به سمت اندام سالم به واسطه اختلال در ثبات ایستا شد.

از سوی دیگر با توجه به این که شاخص «محدوده ثبات» بیان‌گر وضعیت تعادل پویا و حفظ مرکز ثقل در محدوده ثبات حین حرکت است، لذا بیشتر از آن‌که وابسته به زیر سامانه حسی- پیکری باشد، به دو زیرسامانه دیگر بینایی و گوش داخلی وابسته است.

تاکنون مطالعات متعددی در تعیین نقش بافت‌نرم در کنترل تعادل و ثبات بدن در حال ایستاده منتشر شده‌اند، لیکن موضوع انتقال حس عمقی از استخوان به سیستم مرکزی تعادل کمتر مورد بررسی قرار گرفته است[۱۲-۱۵]. معنی‌دار بودن تفاوت ارقام «ضریب ثبات» در این مطالعه گویای اهمیت محرک‌های عمقی از استخوان در ایجاد تعادل و ثبات بدن است: وجود پدیده «محدوده ثبات»، توانایی بدن در تغییر مرکز ثقل را براساس نیاز نشان می‌دهد و درنتیجه وجود یک «ثبات پویا»[1] را القا می‌کند. لذا برای داشتن توانایی تغییر مرکز ثقل، سلامت سیستم حرکتی الزامی است.

نتیجه‌گیری

تعادل پویا بیش از آنکه وابسته به سیستم حسی- پیکری باشد، به سیستم بینایی و تعادل گوش داخلی وابسته است.

1. Dynamic balance

References

1. Shumway-cook A,Woolacott MH. Motor control: Theory and practicl Application. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins: 2001. p163-92.

2. Morasso PG, Schieppati M. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? J Neurophysiol. 1999;82 (3): 1622-6.

3. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. J Orthop Sports Phys Ther. 2001;31(10):546-66.

4. Fridén T, Roberts D, Ageberg E, Waldén M, Zätterström R. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. J Orthop Sports Phys Ther. 2001; 31 (10): 567-76.

5. Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. Phys Ther. 1997;77(5):517-33.

6. Oatis CA. Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement. 1st ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004. p 7690.

7. Hertel J, Buckley WE, Denegar CR. Serial Testing of Postural Control After Acute Lateral Ankle Sprain. J Athl Train. 2001;36(4):363-8.

8. Tjon SS, Geurts AC, van't Pad Bosch P, Laan RF, Mulder T. Postural control in rheumatoid arthritis patients scheduled for total knee arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(11):1489-93.

9. Karladani AH, Svantesson U, Granhed H, Styf J. Postural control and torque of the knee joint after healed tibial shaft fracture. *Injury*. 2001;32(1):57-60.

10. Aruin AS. The effect of changes in the body configuration on anticipatory postural adjustments. *Motor Control*. 2003;7(3):264-77.

11. Patla AE, Ishac MG, Winter DA. Anticipatory control of center of mass and joint stability during voluntary arm movement from a standing posture: interplay between active and passive control. *Exp Brain Res*. 2002;143(3):318-27.

12. Gu MJ, Schultz AB, Shepard NT, Alexander NB. Postural control in young and elderly adults when stance is per turbed: dynamics. J Biomech. 1996;29(3):319-29.

13. Tjon SS, Geurts AC, Van't Pad Bosch P, Laan RF, Mulder T. Postural control in rheumatoid arthritis patients scheduled for total knee arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(11):1489-93.

14. Fransson P, Johansson R, Hafström A, Magnusson M. Methods for evaluation of postural control adaptation. Gait Posture. 2000;12(1):14-24.

15. Gilles M, Wing AM, Kirker SG. Lateral balance organization in human stance in response to a random or predictable perturbation. Exp Brain Res. 1999;124(2):137-44.