



Oturulan yerden kalkma hareketinin analizi için mekanik model geliştirilmesi

Kasım Serbest^{1*}, Murat Çilli², Osman Eldoğan³

¹Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, Sakarya

²Sakarya Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Antrenörlük Eğitimi, Sakarya

³Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Sakarya

15.05.2012 Geliş/Received, 13.12.2012 Kabul/Accepted

ÖZET

Bu çalışmada insan vücudunun ayak, bacak, uyluk, gövde, kol ve ön koldan oluşan 6 katı uzuvlu açık zincir modeli oluşturulmuştur. Uzuvların antropometrik özelliklerinin belirlenmesinde antropometrik modellerden ve bilgisayar yazılımlarından faydalanılmıştır. Eklemlerin konum verilerinin elde edilmesi için üzerine işaretleyiciler yerleştirilen deneğin hareketleri kamera ile izlenmiş ve sayısallaştırma işlemi yapılmıştır. MATLAB (7.6.0) yazılımı kullanılarak eklemlerin açısal yer değiştirmeleri, açısal hızları ve açısal ivmeleri hesaplanmıştır. Elde edilen kinematik veriler SimMechanics (2.7.1) yazılımında oluşturulan ters dinamik modelin tahrikinde kullanılmıştır.

Oturulan yerden kalkma hareketinin benzetimi SimMechanics yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SimMechanics yazılımı ile hesaplanan yer tepki kuvveti, hareket analizi sırasında kuvvet platformuyla ölçülen yer tepki kuvveti ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların bir birine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışma, gerçek boyutlardaki mekanik sistemlerin dinamik analizleri için geliştirilmiş SimMechanics yazılımının insan hareketi analizlerinde de kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, yapılan benzetim işlemi hareketin kinetik davranışlarını açıklamada faydalı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik analiz, ters dinamik yöntem, hareket analizi

Development of a mechanical model to analysis motion of standing up from the sitting position

ABSTRACT

In this study, a human body has been composed as a 6 rigid-open loop-body model which is consisted of a leg, a foot, a thigh, a trunk, an arm and a fore arm. To determine the anthropometric characteristics of the bodies has been benefited from anthropometric models and the computer software. The movements of the subject markers placed on body was viewed with a video camera in order to get location data of joints and the digitization process was made. It was computed the angular displacement, angular velocity and angular acceleration of the joints using by MATLAB (7.6.0). The obtained data was used to actuate inverse dynamics model which is created by SimMechanics (2.7.1).

Motion of standing up from the sitting position was simulated by using SimMechanics software. It was compared ground reaction force calculated by SimMechanics with ground reaction force measured by force platform. This study was also shown that SimMechanics software which is developed to analyse mechanical systems in real dimensions dynamically can be used for human motion analysis. Furthermore, the simulating process has been useful to explain kinetic behaviour of the human movement.

Keywords: Biomechanical analysis, inverse dynamics method, motion analysis

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Canlıları cansızlardan ayıran en büyük özelliklerden biri olan hareket, birçok araştırma alanının ilgisini çekmektedir. İnsan hareketinin tanımlanabilmesi; biyomekanik analizler, hareket bozuklarının belirlenmesi, ortez ve protez tasarımları, ergonomik çalışmalar, insansı mekanizmalar, bilgisayar uygulamaları ve sportif faaliyetler gibi alanlarda önemli rol oynamaktadır.

İnsan hareketinin biyomekanik olarak modellenmesine yönelik modern araştırmalara, Winter tarafından gerçekleştirilen çalışmalar öncülük etmektedir. Bu çalışmalardan bir tanesi, tek kamera ile gerçekleştirilen 2 boyutlu bir yürüme analizi deneyidir. Kütlesi 56.7 kg olan bir kişinin kuvvet platformu üzerindeki yürüyüşü saniyede 70 kare görüntü elde eden kamera ile görüntülenmiştir. Daha sonra bu görüntülerin işlenmesiyle, anatomik noktalara yerleştirilen işaretlerin koordinatları belirlenmiştir [1].

Çağımızda gelişen bilgisayar sistemleri ve bunlara bağlı yazılımlar sayesinde hareketlerin izlenmesi, görüntülerin işlenmesi ve hareketin biyomekanik olarak analiz edilmesi daha kolay hale gelmiştir. Biyomekanik, güvenlik, ergonomi ve sportif çalışmalar için geliştirilmiş bazı yazılımlara örnek olarak TASS (TNO Automotive Safety Solutions, Hollanda); LifeMOD, ABD; The AnyBody Modelling System, Danimarka; OpenSim, ABD ve CATIA, Fransa ergonomik tasarım ve analiz modülü gösterilebilir [2]. Ayrıca pazarda çok sayıda ticari hareket analizi sistemi mevcuttur. Bunların en çok bilinenleri; APAS (Ariel Dynamics, Inc., ABD), CODA (Charnwood Dynamics Ltd., İngiltere), ELITE (Bioengineering Technology and Systems, İtalya), OPTOTRACK (Northern Digital, Inc., Kanada), PEAK (Peak Performance Technologies, Inc., ABD), QUALISYS (Qualisys Medical AB, İsveç) ve VICON (Vicon Motion Systems Ltd., İngiltere) tarafından geliştirilen sistemlerdir [3].

Nispeten karmaşık olmayan insan hareketlerinin modellenmesinde kullanılan bir diğer uygulama da SimMechanics yazılımıdır. SimMechanics, Simulink ve MATLAB araçlarından da faydalanarak fiziksel sistemlerin blok diyagramları şeklinde modellendiği, katı cisimlerin ve bu cisimlere ait hareketlerin Newton dinamiği yasalarına göre çözümlendiği bir yazılımdır. Bu yazılımla, uygun araçlar seçilerek mekanik sistemlerin fiziksel ve kütle özellikleri belirlenebilir, bu özelliklere uygun hareketler tanımlanabilir ve cisimlerin hareketi dinamik olarak incelenebilir. SimMechanics, mekanik sistemler için geliştirilmiş bir yazılım olmasına

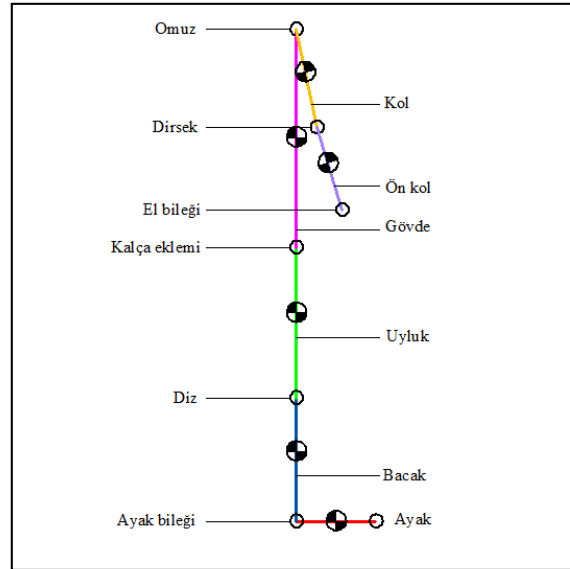
rağmen insan hareketinin incelenmesinde de kullanılmaktadır [4-11].

Bu çalışmada, insan vücudu SimMechanics yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan modelin benzetimi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve modelin doğruluğu ölçülmüştür.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Eklem-Uzuv Modelinin Oluşturulması (Establishment of Joint-Body Model)

Bu çalışmada insan vücudu; ayak, bacak, uyluk, gövde, kol ve ön koldan oluşan ve açık zincir mekanik yapıya sahip bir eklem-uzuv modeli ile temsil edilmiştir. Şekil 2.1'de insan vücudunun sagittal düzlemdeki eklem-uzuv modeli görülmektedir. Dinamik analizler için gerekli uzuv boyları, uzuv ağırlıkları, uzuv atalet momentleri ve uzuv kütle merkezlerinin yeri gibi verilerin elde edilmesi için Dempster [12] ve Chandler ve diğ. [13] tarafından geliştirilen antropometrik modellerden ve bilgisayar yazılımlarından faydalanılmıştır.



Şekil 2.1. İnsan vücudunun sagittal düzlemdeki eklem-uzuv modeli (joint-limb model in sagittal plane of the human body)

Uzuvların antropometrik özelliklerinin belirlenmesinde 26 yaşında, 174 cm boyunda, 70.2 kg kütleli ve herhangi bir sağlık sorunu bulunmayan erkek denegİN boy ve kütle özellikleri referans alınmıştır. Tablo 2.1 uzuvların farklı çalışmalardan ve bilgisayar yazılımlarından faydalanılarak elde edilen antropometrik özelliklerini göstermektedir.

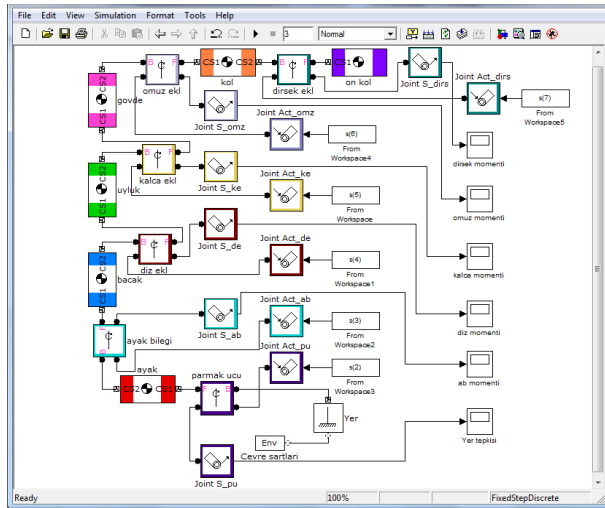
Antropometrik özellikleri belirlenen model, SimMechanics (2.7.1) yazılımının sağladığı blok diyagramları kullanılarak oluşturulmuştur. 6 uzvu

birbirine bağlayan 7 eklemin her biri, z eksenini (bilgisayar ekranından dışarı yönde olan eksen; x eksenini yatay; y eksenini dikey yöndedir) etrafında dairesel hareket yapacak şekilde tek serbestlik derecesine sahip olarak modellenmiştir. Vücudu oluşturan uzuvlar, katı cisimler olarak kabul edilmiştir. Hareket esnasında meydana gelen yer tepki kuvvetlerinin etki noktasının ayak ucu olduğu varsayılmıştır. Modelin, yer çekimi etkisini oluşturan zemin ile bağlantısı da ayak ucundan gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.1. Uzuvların antropometrik özellikleri (Anthropometric characteristics of the limbs)

Uzuv	Uzuv boyu (cm)	Kütle (kg)	Atalet momenti (g·cm ²)			Proksimal uçtan itibaren kütle merkezi yeri (cm)
			I _{xx}	I _{yy}	I _{zz}	
Ayak	24.33	0.993	7·10 ³	30·10 ³	33·10 ³	12.16
Bacak	37.53	3.185	329·10 ³	29·10 ³	391·10 ³	16.25
Uyluk	45.82	6.850	1157·10 ³	224·10 ³	1137·10 ³	19.84
Gövde	66.44	23.53	19744·10 ³	9325·10 ³	12736·10 ³	32.88
Kol	30.52	1.965	132·10 ³	22·10 ³	133·10 ³	13.3
Ön kol	26.3	1.123	64.5·10 ³	8.8·10 ³	66.9·10 ³	11.31

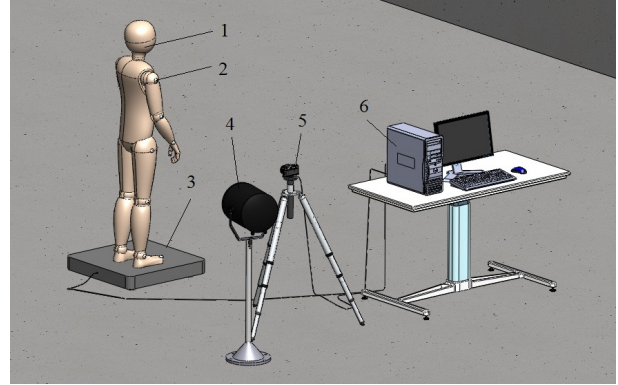
SimMechanics yazılımında oluşturulan modelin blok diyagramları yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir. Oluşturulan yapı, ayakta dik olarak durmakta olan denegin uzuvlarına ait koordinat değerlerinin girilmesiyle belirlenmiştir. Bu duruş aynı zamanda başlangıç pozisyonunu göstermektedir.



Şekil 2.2. Eklem-uzuv modelinin SimMechanics yapısı(SimMechanics structure of the joint-limb model)

2.2. Hareket Analizi (Motion Analysis)

SimMechanics yazılımı kullanılarak oluşturulan model ters dinamik yöntem kullanılarak çözüleceğinden, modeldeki her bir eklemin hareketinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Eklemleri harekete geçirmek için gerekli olan açısal yer değiştirme, açısal hız ve açısal ivme değerlerinin tespit edilebilmesi için antropometrik özellikleri SimMechanics yazılımı ile oluşturulan modele de aktarılan gönüllü denegin oturmakta olduğu 20 cm yüksekliğindeki platformdan kalkış hareketinin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için saniyede 25 kare görüntü yakalama özelliği olan bir dijital kamera, aydınlatma sistemi ve dikey yöndeki tepki kuvvetlerini ölçen bir kuvvet platformu (Kistler Group, İsviçre) ve bu platforma ait yazılım, bilgisayar ve yansıtma özelliği olan işaretleyiciler kullanılmıştır. Şekil 2.3’de deney ortamının CAD yazılımında oluşturulmuş modeline yer verilmiştir.



Şekil 2.3. Deney ortamının CAD modeli. 1; gönüllü denek, 2; işaretleyici, 3; kuvvet platformu, 4; ışık sistemi, 5; dijital kamera, 6; bilgisayar seti (CAD model of the test environment. 1; volunteer subjects, 2; marker, 3; force platform, 4; lighting system, 5; digital camera, 6; computer kit)

Ayakucu, ayak bileği, diz, kalça, omuz, dirsek ve el bileği noktalarına yerleştirilen işaretleyiciler üzerine ışık etki ettirilmiş ve bu sayede kameradaki görüntülerinin belirginleşmesi sağlanmıştır. Ayrıca kameranın enstantane hızı artırılarak hareket halindeki görüntünün daha net hale gelmesi amaçlanmıştır. Denek, önceden planlanmış hareketi yaparken görüntüler kameraya kaydedilmiştir. Aynı zamanda hareketler esnasında oluşan yer tepki kuvvetleri, kuvvet platformu aracılığıyla ölçülmüştür.

2.3. Hareketin Sayısallaştırılması (Digitization of movement)

7 antropometrik noktaya yerleştirilen işaretleyicilerin koordinat değerlerinin elde edilmesi için görüntünün sayısallaştırılması gerekmektedir. Kamera görüntülerindeki işaretleyicilerin konumlarının tespit

edilebilmesi için MATLAB (versiyon 7.6.0) yazılımında oluşturulan bir programdan yararlanılmıştır. Bu program çalıştırıldıktan sonra sayısallaştırılacak görüntü seçilmekte, koordinatları belirlenecek noktaların sayısı belirlenmekte ve ışık yoğunluğuna olan duyarlılık ayarlanmaktadır. Program, hareket halindeki görüntüde işaretleyicilerin yerini algılayarak her bir görüntü karesindeki koordinat değerlerini tespit etmektedir. Ardından bu koordinat verilerinin hangi noktalara ait olduğunu belirtmek için görüntü üzerindeki noktaların yeri fare yardımıyla tıklanarak belirlenmektedir. Seçme işlemi bir kez yapıldıktan sonra elde edilen koordinat değerleri bir dosyaya yazdırılarak kullanılabilir hale gelmektedir.

2.4. Sayısallaştırılan Hareketin Filtrelenmesi (Filtering Digitized Motion)

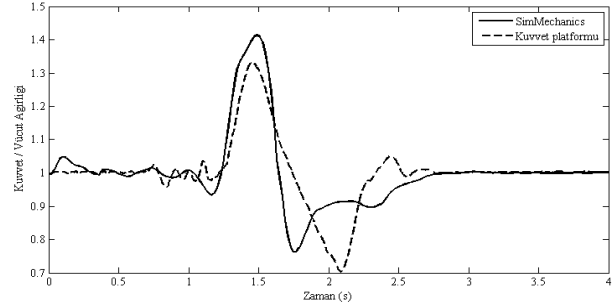
Sayısallaştırılarak koordinatları elde edilen noktaları gürültüden kurtarmak ve konum verilerini hareketin doğasına uygun hale getirmek için filtreleme işlemi uygulanmıştır [14]. Bu işlem, MATLAB ortamında konum verilerine "Low-pass digital filter" tekniğinin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sayısallaştırma işlemi sırasında oluşan hataların yumuşatılması da sağlanmıştır.

2.5. Bulgular (Findigs)

Bu çalışma kapsamında incelenen hareketin SimMechanics yazılımında gerçekleştirilen benzetimi sonucunda hesaplanan dikey yöndeki yer tepki kuvveti ile hareket analizi sırasında kuvvet platformu aracılığıyla ölçülen dikey yöndeki yer tepki kuvvetinin karşılaştırması Şekil 2.4'de görülmektedir.

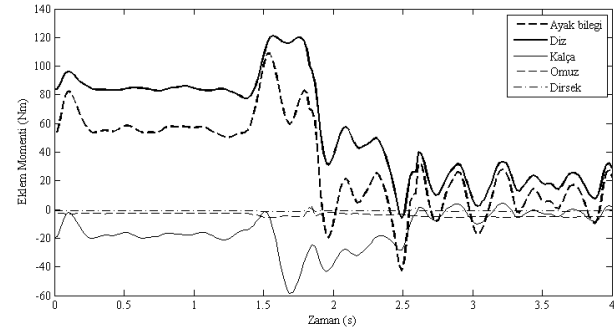
20 cm yükseklikten kalkış hareketi esnasında meydana gelen yer tepki kuvvetinin ölçülen ve hesaplanan değerlerinin çok yakın olduğu görülmektedir. SimMechanics yazılımında oluşturulan modelin benzetimi sonucu hesaplanan yer tepki kuvvetinin maksimum değerinin yaklaşık olarak %7 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, model oluşturulurken hesaplanan antropometrik özelliklerin tam olarak belirlenememesinden ve hareket analizinden elde edilen konum verilerinin yeterince hassas olmayışından kaynaklanmaktadır. Oluşan kuvvetin davranışı incelendiğinde kuvvet platformu verileri ile SimMechanics yazılımından elde edilen verilerin anlamlı bir benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Oturulan yerden kalkma hareketinin analizi için mekanik model geliştirilmesi



Şekil 2.4. Oluşan dikey yer tepki kuvvetinin karşılaştırılması (The comparison of the resulting vertical reaction force)

Şekil 2.5'de SimMechanics yazılımı ile hesaplanan eklem momentlerine yer verilmiştir. Şekilde diz, ayak bileği, kalça, omuz ve dirsek eklemlerinin moment değerleri görülmektedir. Omuz ve dirsek eklemleri, incelenen bu harekette çok fazla zorlanmamaktadırlar. Değerler incelendiğinde en büyük zorlanmanın diz ekleminde olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.5. SimMechanics yazılımında hesaplanan eklem momentleri(SimMechanics joint torques calculated by software)

3. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

İnsan hareketinin sagittal düzlemdeki hareketi 2 boyutlu olarak incelenmiş, oluşturulan model ile benzetim işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Oturulmakta olan 20 cm yükseklikten kalkış esnasında oluşan ve SimMechanics yazılımı ile hesaplanan dikey yöndeki yer tepki kuvvetinin, vücut ağırlığının yaklaşık 1.4 katına denk geldiği görülmüştür. Bu sonuç Hang ve Zhaoli tarafından gerçekleştirilen çalışma ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada, oturmakta olduğu yaklaşık 40 cm'lik yükseklikten ayağa kalkan deneyin hareketi esnasında oluşan dikey yöndeki yer tepki kuvveti, vücut ağırlığının yaklaşık 1.25 katı kadar hesaplanmıştır[10]. Oturma yüksekliği azaldıkça oluşan yer tepki kuvvetinin artması, hareketin doğal bir sonucudur.

Hem SimMechanics ile hesaplanan hem de kuvvet platformuyla ölçülen minimum yer tepki kuvvetinin,

hareketin belli bir aralığında vücut ağırlığının altına düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum yukarı doğru kalkan vücudun, hareketin belli bir anından sonra yavaşlaması ile birlikte, oluşan kuvvetin de düşüş gösterdiğini açıklamaktadır. Hızın azalması ve ivmenin negatif olarak değişmesi hareket analizi verilerinden de anlaşılmaktadır.

İnsan hareketinin incelenmesinde eklemlere etkiyen kuvvet ve momentler, harici bir araç ile direk olarak ölçülememektedir. Ancak bir takım dinamik hesaplamalar ve yaklaşımlar kullanılarak hesaplanabilmektedir. SimMechanics yazılımı ile eklemlere gelen kuvvet ve momentlerin hesaplanması da mümkün olmuştur. İncelenen harekete bakıldığında en büyük eklemler momentinin diz ekleminde olduğu görülmektedir. Diz ekleminin ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri sırasında oluşan momentleri taşıyabilme kabiliyetinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. MATLAB ve Simulink araçları insan hareketlerinin modellenmesinde de faydalı ve esnek çözümler sunmaktadır. İleriki çalışmalar olarak, hareketlerin çok sayıda kamera ile izlenerek 3 boyutlu modeller ile analiz gerçekleştirilmesi ve modelin ileri dinamik yaklaşım (forward dynamics) ile çözümlerinin yapılarak kuvvet ve momentlerin hareketlerin kinematiğine olan etkilerinin incelenmesi gösterilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2012-50-01-006).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Winter, D., A., Biomechanics And Motor Control Of Human Movement, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Canada, 1990.
- [2] Lee, K., Cad Systems For Human –Centered Design, Computer-Aided Design & Applications, 3, 5, 615-628, 2006.
- [3] Civek, E., Comparison Of Kinematic Results Between Metu-Kiss & Ankara University-Vicon Gait Analysis Systems, Y. Lisans Tezi, Odtü, Makina Mühendisliği Bölümü, 2006.
- [4] Mehmood, A., Camescasse, B., Ouezdou, F., B., Cheng, G., Simulation And Design Of 3-Dof Eye Mechanism Using Listing's Law, International Conference On Humanoid Robots, Korea, 429-434, 2008.
- [5] Hernandez-Santos, C., Soto, R., Rodriguez, E., Design And Dynamic Modeling Of Humanoid Biped Robot E-Robot, Electronics Robotics And Automotive Conference, 191-196, 2011.
- [6] Franchi, D., Maurizu, A., Placidi, G., A Numerical Hand Model For A Virtual Glove Rehabilitation System, International Workshop On Medical Measurement And Applications, Italy, 41-44, 2009.
- [7] Jamshidi, N., Rostami, M., Najarian, S., Saadatnia, M., Firooz S., Modelling Of Human Walking To Optimize The Function Of Ankle-Foot Orthosis In Guillan-Barre Patients With Drop Foot, Singapore Med J, 50, 4, 412-417, 2009.
- [8] Hajny, O., Farkasova, B., A Study Of Gait And Posture With The Use Of Cyclograms, Acta Polytechnica, 50, 4, 48-51, 2010.
- [9] Winder, S., B., Esposito, J., M., Modeling And Control Of An Upper-Body Exoskeleton, 40th Southeastern Symposium On System Theory, Usa, 263-268, 2008.
- [10] Hang, S., Zhaoli, M., Kinematics Simulation Of Sit To Stand Based On Simmechanics, International Conference On Future Computer Science And Education, China, 59-61, 2011.
- [11] Kailai, W., Tagawa, Y., Shiba, N., Simulation Of Human Body Motion Under The Condition Of Weightlessness, International Joint Conference, Japan, 3835-3839, 2009.
- [12] Gordon, D., Robertson, E., Caldwell, G., E., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S., N., Research Methods In Biomechanics, Human Kinetics, Usa, 2004.
- [13] Chandler, R., F., Clauser, C., E., Mcconville, J., T., Reynolds, H., M., Young, J., W., Investigation Of Inertial Properties Of The Human Body, Aerospace Medical Research Laboratory, Dot-Hs-017-2-315-1a, 1-162, Washington D.C., 1975.
- [14] Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kalivas, V., Antoniou, P., Mavromatis, G., Snatch Lift Kinematics And Bar Energetics In Male Adolescent And Adult Weightlifters, J. Sports Med. Phys. Fitness, 44, 126-131, 2004.

