

Munkaülés a biomechanika eszközeiről, eredményeiről

Summary

Workshop about the instruments and the results of biomechanics. The workshop was organized by the Research Centre of Biomechanics of Budapest University of Technology and Economics (BME) on 25th November 2005. Both the results and the instruments of the domestic [3–6] and the Transylvanian University [2] and the supply of the Instron Ltd. [7] and the CSM Instruments [8] could be got to know by the participants.

Előzmények

A születési, a baleseti és az időskori gerinc- és mozgásszervi, fogászati, szív- és érrendszeri és más szervi rendellenességek, sérülések és károsodások gyógyításában mind nagyobb szerepe van a különféle külső vagy belső rögzítők, illetve protézisek alkalmazásának, valamint a műtéti beavatkozásokat követő rehabilitációs kezelésekhöz szükséges segéd-eszközöknek és berendezéseknek. Mindezek megtervezéséhez, előállításához egyrészt kiterjedt biomechanikai és anyagvizsgálatokra, másrészt a szakorvosok és szakmérnökök harmonikus együttműködésére van szükség. Ez a felismerés és igény vezetett a BME Biomechanikai Kutatóközpont létrehozásához és – kezdeményezésükre – az I. Magyar Biomechanikai Konferencia megszervezéséhez és a Magyar Biomechanikai Társaság megalapításához 2004 nyarán. Mindezekről lapunk is beszámolt [1].

A 2005. november 25-ei munkaülést (workshop-ot) is a BME Biomechanikai Kutatóközpontja szervezte, amelyen a biomechanika egyre bővülő honi alkotóműhelyének képviselőit megjelent mintegy 30 résztvevő megismerhette egyrészt a hazai [3–6] és a brassói egyetem [2] vizsgálati eredményeit és vizsgálattechnikáját, másrészt a vizsgálóeszköz-gyártó vállalat, az Instron Ltd. [7], valamint a svájci CSM Instruments cég [8] eszköz kínálatát.

Természetesen az elhangzottak nincsenek előzmények nélkül, és ezért beszámolóink Hivatkozások pontjában az előadásokhoz kapcsolódó forrásokat is megjelöltük. A munkaülés sikeréhez az Instron Ltd. és hazai képviselője, az Atestor Kft. bemutatásával járult hozzá.

A munkaülést, a főszervező, Borbás Lajos vezette. Baráti hangvétellű megnyitószavait követően először a műegyetemi kutatóközpont munkájáról kaptunk áttekintést.

A BME Biomechanikai Kutatóközpont

A központ gazdaságilag önálló, ám fizikai léteiben – a korszerű, szervohidraulikus Instron 8872 vizsgálógéppel felszerelt központi laboratóriumukat kivéve – virtuális kutatóközpont, amely 2002 decemberében alakult, mégpedig a Műegyetem öt kara 18 tanszékének részvételével – mondta Bojtár Imre igazgató. A mintegy 45 kutató – egymás munkáit és adottságait megismerve – ma már egyre inkább a közösen benyújtott és támogatásra méltónak ítélt pályázati témákon együttműködve dolgozik. A kutatóközpont sokrétű tevékenysége módszertanilag a kísérleti és a numerikus módszereken alapuló elemzés, a gyógyászati eszközök fejlesztése és az elméleti kutatások csoportjaiba sorolható [3]:

Kísérleti elemző munkájuk egyik fontos területe a különféle emberi tevékenység mozgáselemzése. Ehhez ultrahangos helyzet-meghatározó vizsgálórendszert használnak (1. ábra).



1. ábra. Ultrahangos mozgáselemző rendszer
Fig. 1: The ultrasonic system for the motion analysis

Ennek lényege, hogy az ismert geometriai konfigurációban elhelyezett három ultrahang adó 50 Hz frekvenciával hangimpulzusokat küld a mozgást végző ember anatómiai pontjaira felszerelt mikrofonokba, a rendszer pedig méri a hangimpulzusok észleléseinek időpontjait. Ezek, valamint az ultrahang terjedési sebességének ismeretében a mozgást végző ember anatómiai pontjai térkoordinátáinak időbeni változása a számítógép szoftverjével számítható. Ezek az elemzések alapul szolgálhatnak, például a sportlók mozgásának optimalizálásához, vagy a mozgásszervi betegek fizioterápiás kezeléséhez, illetve – a Műegyetem gyógyászati eszközfejlesztésének eredményeként – a gyógytornáztató robot (2. ábra) egyénre szabott programozásához.

Beszámolók

Accounts



2. ábra. Gyógytornászató robot
Fig. 2: The physiotherapist robot



3. ábra. A súlyfürdő terápia in vivo ultrahangos vizsgálata
Fig. 3: Sub aqua ultrasonic investigation of the „weigh bath” therapy



4. ábra. Csavarokkal rögzített combnyak-törés vizsgálata
Fig. 4: Testing of a fractured femoral neck fixed by screws

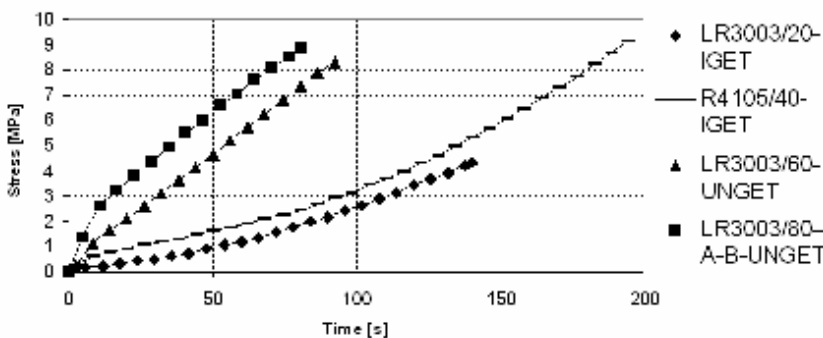


5. ábra. Alsó állkapocs és fogprotézis vizsgálata
Fig. 5: Testing of a mandible and tooth prosthesis

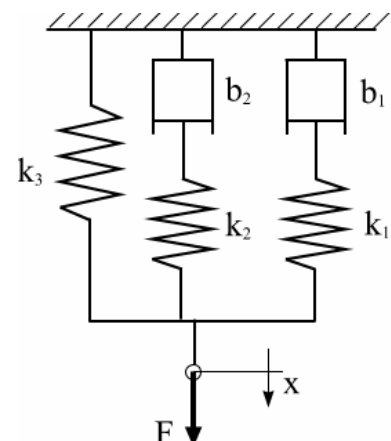
Eredményesek – többek között – az ultrahangos vizsgálat víz alatti in vivo alkalmazásával (3. ábra) a gerincbetegek gyógyításához, a magyar Moll doktor által 1953-ban bevezetett, ún. súlyfürdő terápia biomechanikai hátterének feltárását célul kitűzött elemzéseik, a termovízió orvosi diagnosztikai alkalmazása érdekében végzett vizsgálataik, valamint a gépjárművek ütközéses baleseteinek szimulációjára alapozott utasbiztonsági elemzéseik; továbbá a vérkeringés, a sejtszétválás modellezések.

Kiterjedt elemző munkát végeznek az emberi csontok és ízületek, az ezeket pótló protézisek és anyagainak, valamint a törött csontok külső és belső fémrögzítőinek (pl.: 4. ábra) mechanikai vizsgálatára, felületbevonatos optikai feszültségvizsgálatára, illetve végelem-módszerrel elvégzett számításokra alapozva.

A kísérleti mechanika alakváltozás- és feszültségmérő módszereit sikeresen alkalmazzák a biomechanikai elemzésekhez. Erőről szól részletesebben a központi laboratórium vezetője, Borbás Lajos, aki a módszerek kiválasztásának szempontjait tekintve át előadása első részében, végül példaként a felületbevonatos optikai feszültségvizsgálat lényegét ismertette és bemutatta ennek alkalmazását a fogászati protézisek biomechanikai elemzéséhez [4]. Az 5. ábra a kísérleti elrende-



6. ábra. Különböző keménységű szilikon-gumi a) szakítódiagramja és b) dinamikusan anyagmodellje
Fig. 6: a) Strain–stress diagram of the different hardness silicon rubbers and b) one of the dynamic material model for a typical silicon rubber

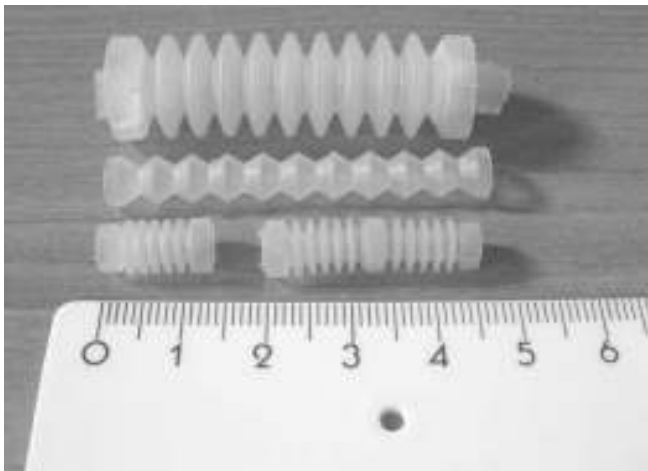


Beszámolók

Accounts

zést szemlélteti, amelyet a munkaülést záró laborlátogatás során is tanulmányozhatták a résztvevők.

A kutatóközpont egyik sikeresen művelt és kiemelt tématerülete a szövetbarát szilikon-gumi tulajdonságainak vizsgálata és anyagtörvényének modellezése, illetve diagnosztikai és gyógyászati alkalmazása. Ez meggyőzően kiderült Huba Antal professzor előadásából [6], aki kifejtette: gyógyászati eszközök megtervezéséhez és legyártásához elsődlegesen, különböző sebességgel elvégzett szakítóvizsgálatokra alapozottan, meg kellett alkotniuk, Shore-keménység csoportonként, a szilikon-gumi dinamikus – párhuzamosan és sorba kötött rugókból és csillapítókból felépített – nemlineáris anyagmodelljét. Erre mutat példát a 6. ábra. Meghatározták az anyag rugalmassági modulusának hőmérséklet- és frekvenciafüggését is. Ezek ismeretében végelelem-módszerrel szilárdsági-ellenőrizhetők a szilikon-gumiból készült gyógyászati implantátumok. Belek diagnosztikai célú (pl. endoszkópos) vizsgálatához kifejlesztettek egy hidraulikusan vezérelhető és gilisztaszzerűen araszolva mozgó eszközt (7. ábra).



7. ábra. A szilikon-gumiból készült, hidraulikus vezérléssel gilisztaszzerűen araszolva haladó béldiagnosztikai hordozó eszköz

Fig. 7: Hydraulic controllable, inchworm actuator device made from silicon rubber for the intestine diagnostic

Kimutatták, hogy a szilikon-gumiba ágyazott szemcsés szénadalék az anyagot villamosan vezetővé teszi. Az ilyen anyag nyúlásmérő bélyegként is alkalmazható. Kísérletekkel igazolták, hogy ennek az anyagnak a villamos tulajdonságai még a hosszú időtartamú fárasztóvizsgálat során sem változnak meg, ezért mérés-technikai alkalmazása megbízható.

A brassói egyetem kutatásai

Az egyetemen folyó biomechanikai kutatások egyik sikeres eredményéről Száva János professzor számolt be. Előadásában ismertette a törött, hosszú emberi csontok (például a lábszárcsont) gyógyulását

segítő, belső és külső rögzítő elemeket – köztük egy új, belső rögzítésként rugalmas, nyolcas alakú drótot – alkalmazó sebészeti eljárások összehasonlító biomechanikai vizsgálatainak céljára kidolgozott, nyúlásmérő bélyeges módszerre alapozott, mérőkészüléket és eljárást, és az ezzel mért eredményeiket [3].

A Debreceni Egyetem kutatásai

Az egyetem **Biomechanikai Kutatólaboratóriumának** vezetője, Csernátóy Zoltán orvosprofesszor előadásában hitelesen szemléltette, hogy a biomechanika mennyire segíti az ortopéd sebész mindennapi gyógyító munkáját [5]. Az 1993-ban alapított kutatólaboratóriumuk biomechanikai munkájára – mint mondta – a 2004-ben üzembe helyezett, korszerű, szervohidraulikus Instron 8874 típusú, biaxiális terhelésre és fárasztásra is alkalmas vizsgálógép korszakalkotó hatású. Segítségével a különböző műtéti megoldások és segédeszközei vizsgálhatók, többek között a komplett medence, illetve a különböző módon belülről rögzített törött medence (8. ábra), a gerincoszlopot



8. ábra. Belül rögzített törött medence vizsgálata
Fig. 8: Testing of a fractured hip bone fixed inside

keresztirányban rögzítő belső eszköz hatásossága az állandó nyomó és ciklikus csavaró igénybevétellel szemben (9. ábra), a törött alsókar rögzítése (10. ábra).

A vizsgálati programjaikba a végzős egyetemisták is kapnak feladatokat. A közeljövőben szeretnék laboratóriumukat akkreditáltatni, és vizsgálógépü-

Beszámolók

Accounts

ket az érintésmentes video-extenzométerrel felszerelni, illetve egy csípő-szimulátort is üzembe helyezni.



Fig. 9. ábra



Fig. 10. ábra

9. ábra. A gerincoszlopot keresztirányban rögzítő belső eszköz vizsgálata állandó nyomás alatt ciklikus csavarással

Fig. 9: Investigation with cyclic rotation under constant force of the inside device fixing the spine in transversal direction

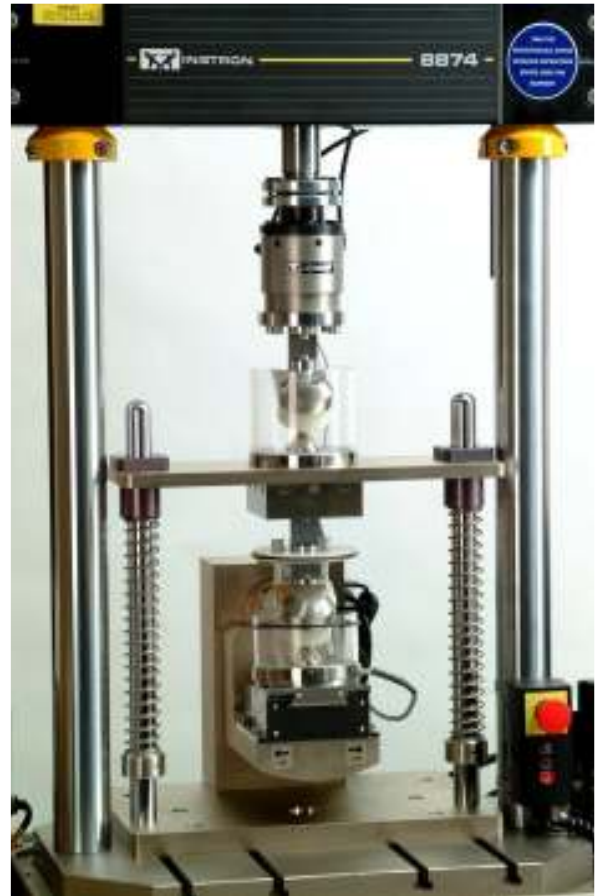
10. ábra. Belső rögzítésű törött alsókar vizsgálata

Fig. 10: Testing of a fractured forearm fixed with an inside device

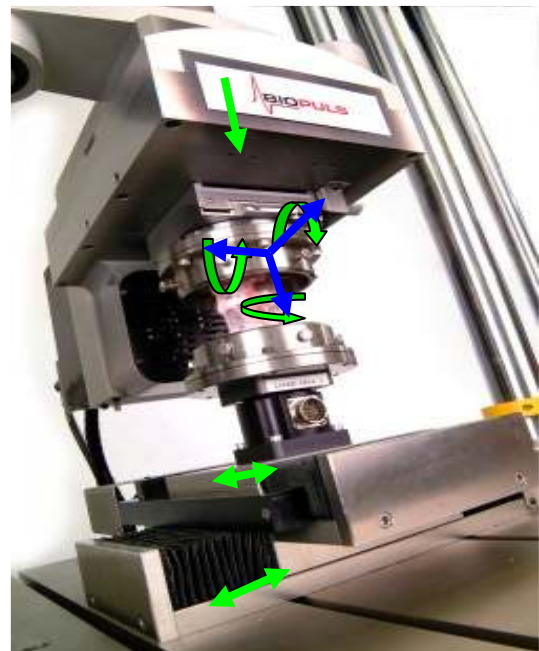
A vizsgálóeszköz-gyártók kínálata

A biomechanika vizsgálatok tapasztalatai újabb igényeket generálnak, amelyek kielégítéséhez a vizsgálóeszköz-gyártók kínálatuk folyamatos fejlesztésével kívánnak eleget tenni.

Az Instron Ltd. képviselőjében David Chang ismertette a Biopuls™ programjuk termékeit [7]: a hazai laboratóriumokban már alkalmazott (és a helyszínen működés közben is bemutatott) elektromechanikus és szervohidraulikus, számítógéppel vezérelt és korszerű értékelő szoftverrel támogatott, univerzális vizsgálógép családot és tartozékaik: a befogók és a nyúlásmérők széles választékát; a 8870 szervohidraulikus gépekre felszerelhető, a csípő és a térd protézisek összehasonlító vizsgálatára kifejlesztett Dual-Station™ (két vizsgálócellás) (11. ábra) és a gerincsigolyák többtengelyű fárasztáshoz kifejlesztett vizsgálókészüléket (12. ábra), valamint a gerincsigolyák kopásvizsgálatára alkalmas, több mérőhelyes vizsgálóberendezést (13. ábra). Speciális vizsgálati igény a kis teherbírású szövetek, mint például a bőr, az inszalag mechanikai vizsgálata. Erre a célra fejlesztették ki a statikus és kvázi dinamikus vizsgálatokra alkalmas 5848 típusszámú Micro Tester kisgépet (14. ábra). A lágy szövetek kéttengelyű, sík feszültségállapotban vizsgálhatók a Planar Bi-axial készülékben (15. ábra).



11. ábra. Az Instron Dual-Station™ vizsgálókészüléke
Fig. 11: The Instron's Dual-Station™ testing system



12. ábra. Az Instron vizsgálókészüléke gerincsigolyák fárasztásához
Fig. 12: The Instron's testing device for fatigue of the spine vertebrae

Beszámolók

Accounts



13. ábra. Az Instron több-mérőhelyes vizsgáló-berendezése gerinccsigolyák kopásvizsgálatához
Fig. 13: The Instron's multi-station wear instrument for testing of spine vertebrae



14. ábra. Az Instron 5848 típusszámú Micro Tester kisgépe
Fig. 14: The Instron's 5848 Micro Tester



15. ábra. Az Instron Planar Bi-axial készüléke
Fig. 15: The Instron's Planar Bi-axial instrument

A CSM Instruments SA. svájci cég felületek, felületi bevonatok mechanikai vizsgálatára kifejlesztett eszköz kínálatát Florent Juvet ismertette [8]. Műszereik biomechanikai alkalmazása nyilvánvaló, hiszen a különböző protézisek testszövettel érintkező felületeit rendszerint vékony szövetbarát bevonattal kell ellátni, és a bevonatok minőségét ellenőrizni kell. A vékony bevonatok anyagi minősége és vastagsága különböző. Például a combnyak protézis gömbbe végződő felületét kemény TiN réteg boríthatja, míg az értágító, fémhuzalból készült ún. stentek felületét vékony polimer réteg. De vizsgálni kell az emberi fogak kemény fogzománcát csakúgy, mint a fogprotézisek kopásálló bevonatait, vagy a kontaktlencsék karcállóságát. A csontritkulás igen gyakori betegség. Az egészséges és a károsodott csontszövetek összehasonlító biomechanikai vizsgálata a műszerezett nano-keménységmérővel elvégezhető és a kapott eredményekből megítélhető az alkalmazott terápia hatékonysága.

A műszerezett karcvizsgálat lényege: a gyémánt Rockwell-kúp vagy -gömb szűrőszerszámot a vizsgált felületre merőleges helyzetben meghatározott (előválaszthatóan 0,4 – 600 mm/min) sebességgel, állandó vagy folyamatosan növekvő terheléssel megkarcolják a felületet és mérik az út függvényében a normál és az érintő irányú (súrlódó) erőnek, a behatolás teljes és maradó mélységének és a súrlódási tényezőnek a változását. Végül a diagramot összevetik a karcolás okozta és mikroszkóppal megfigyelhető felületi károsodással. A karcvizsgálathoz kifejlesztett Scratch Tester család Nano, Micro (16. ábra) és Revetest változatainak a karcolási úthossz-tartománya azonos: 10 μm – 20 mm, de terhelési tartománya rendre: 0,01 mN – 1 N; 30 mN – 30 N; 0,9 – 200 N.



16. ábra. A CSM Instruments Micro Scratch Tester vizsgálóberendezése

Fig. 16: The Micro Scratch Tester of the CSM Instruments

Beszámolók

Accounts

A műszerezett keménységmérő családot a vékony felületi bevonatok rugalmassági modulusának, illetve keménységének a méréséhez fejlesztették ki. A család Ultra Nano, Nano (17. ábra) és Micro Hardness tagjainak legnagyobb terhelhetősége rendre: 100 mN, 500 mN és 30 N. A bevonat tulajdonságának méréséhez a legnagyobb terhelés értékét úgy kell megválasztani, hogy a gyémánt Vickers-gúla behatolási mélysége a rétegvastagság egy tizedénél kisebb legyen. A szűrőszerszám folyamatos behatolása közben méri az erő növekedését, illetve a legnagyobb érték elérését követő tehermentesítés közben az erő csökkenését (18. ábra). A bevonat nanokeménységét vagy a maximális erőnek (F_m) a lenyomat erőre merőleges vetületére vonatkoztatva (szűrő-

keménység), SI egységekben fejezik ki, vagy a szabvány szerint, Vickers-keménységként adják meg (azaz az $F_m/9,8065$ értéket a lenyomat tényleges felületére vonatkoztatva) adják meg. A bevonat rugalmassági modulusa a leterhelési görbe kezdeti S meredekségéből határozható meg, figyelembe véve a szűrőszerszám geometriáját és anyagának rugalmassági modulusát is.

Bevonatok kopásállóságának összehasonlító vizsgálatára fejlesztették ki a *Nanotribometert*, amelynek forgó korongjára helyeztetik a minta felületét mérőlegesen terheli egy félgömb végű tű. Ennek koptató hatására a minta felülete vályúsodik, a súrlódási tényező pedig a károsodás kezdetén ugrásszerűen megnő.



17. ábra. A CSM Instruments NanoHardness keménységmérő készüléke

Fig. 17: The NanoHardness of the CSM Instruments

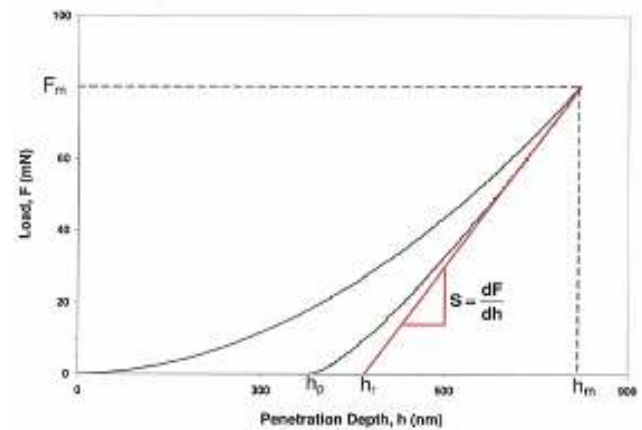
Az előadásokat követő kérdez-felelek, és a munkaülés ebédszünetének, majd a műegyetemi központi laboratórium záró programjának oldott légköre is hozzájárult a munkaülés alapvető céljának teljesítéséhez, az eredményes tapasztalatcseréhez. Köszönet illeti mindenek előtt az előadókat, de a szervezők jó munkáját és szponzorok támogatását is.

A biomechanika honi művelői legközelebb 2006. június 30. – július 1. között találkoznak Debrecenben a 2. Magyar Biomechanikai Konferencián.

Lehofer Kornél

Hivatkozások

1. *Borbás Lajos*: Beszámoló az I. Magyar Biomechanikai Konferenciáról – About the first Hungarian biomechanical conference; *Anyagvizsgálók Lapja* 14. 2004/3. p. 101.



18. ábra. A felületi rétegnek a CSM Instruments Nano Hardness készülékével felvett erő-behatolás diagramja (vázlat)

Fig. 18: The force v. penetration diagram of a coating material measured by the Nano Hardness of CSM Instruments (sketch)

2. *Száva János* (egyetemi tanár, Brassói Transzilvánia Egyetem, Románia) előadása: Törött, hosszú emberi csontok vizsgálata az Instron 4303 vizsgálógéppel – lecture: Instron 4304 testing machine in fractured long human bones' investigation

Előzmény – previously: *Száva, J. et al.*: Elektrotenzométeres próbapad a törött, hosszú csontok viszonylag nagy elmozdulásának mérésére – Electrotensometric test-bench for measuring of relatively large move of fractured long bones; *Anyagvizsgálók Lapja*, 12. 2002/3. p. 87.

3. *Bojtár Imre* (egyetemi tanár, a BME Biomechanikai Kutató Központ igazgatója) előadása: A BME Biomechanikai Kutató Központ munkájáról – lecture: About the works of the Research Centre of Biomechanics of BME

Beszámolók

Accounts

- Előzmény – previously: Research News 2003/1. Issue of the Budapest University of Technology and Economics
- Borbás Lajos* (egyetemi docens, BME Biomechanikai Kutatóközpont) előadása: Alsó állkapocs és fogprotézis kísérletekre alapozott vizsgálata – lecture: Investigation on mandible and tooth prostheses based on experimental test
Előzmény – previously: *Borbás, L. at all.*: Csípőcsont-szár felszínbevonatos optikai feszültségvizsgálata – Testing of the hip-bone by means of photoelastic coating technique, *Anyagvizsgálók Lapja*, 6. 1996/3. p. 87.; Research News 2003/1 p. 10, Issue of the Budapest University of Technology and Economics; *Gáspár, Judit, Borbás, Lajos, Thamm, Frigyes*: Experimental tests on mandible and tooth prosthesis. XXII. DAS, Parma, 2005. Sept. 28 – Oct. 1, pp.: 130–131.
 - Csernátóny Zoltán* (egyetemi tanár, Debreceni Egyetem Biomechanikai Kutatólaboratórium) előadása: Anyagvizsgálatok a Debreceni Egyetem Biomechanikai Kutatólaboratóriumában – lecture: Material testing at the Laboratory of Biomechanical Research of University of Debrecen
 - Huba Antal* (egyetemi tanár, BME Finommechanika és Optika Tanszék) előadása: A finommechanika és a gyógyászat számára új szerkezeti anyag, a szilikon-gumi néhány fontos tulajdonsága – Some important properties of silicone-rubber as a new construction material for the precision engineering and for the medicine
Előzmény – previously: Research News 2003/1 p. 13, Issue of the Budapest University of Technology and Economics
 - David Chang* (Instron Ltd., Biomedical Applications Team) előadása: Az Instron Ltd. Biopuls™ programja – lecture: About the Biopuls™ program of Instron Ltd.
Információk a www.instron.com és a www.atestor.hu honlapokon.
Előzmény – previously: Az Instron alkalmazást bővítő fejlesztései – Development news from Instron, *Anyagvizsgálók Lapja*, 13. 2003/4. p.137.
 - Florent Juvet* (CSM Instruments SA., Svájc) előadása: A korszerű mechanikai felületvizsgálat gyógyászati alkalmazásai – lecture: Advanced mechanical surface testing on biomedical applications

Információk a www.csm-instruments.com honlapon.