

Meditiinifüüsika ja biomeditsiinitehnika läbi sajandite Tartu Ülikoolis

KALLE KEPLER, ARVED VAIN, JÜRI VEDRU

Sissejuhatus

Meditiinifüüsika ja biomeditsiinitehnika (tänapäevases tähenduses) kui teaduste ajalugu Tartu Ülikoolis (ja nähtavasti ka kogu Eestis) algas 1896. aasta jaanuaris-veebruaries siinse esimese röntgenseadme ehitamisega vähem kui kahe kuuga pärast Wilhelm Conrad Röntgeni teadet oma avastusest. Sellest teatab ajaleht *Postimees* järgmist¹ (keeleliselt muutmata): „*Katsetel, mis hiljuti Jurjewi ülikooli füüsikalises kabinetis katodi valgusega ära tehti, kestis hästi selge pildi valmistamine inimese käest kõige vähemalt pool tundi ning kulus sääl juures nii palju elektri võimu ära kui palju teda selle aja sees väikene dünamomasin, mida 2½ hobuse jõuline gaasimootor käima ajab, oleks võinud sünnitada.*“ Katseid tegid Tartu Ülikooli füüsikaproffessor Aleksandr Sadovski ja tema assistent Mihhail Kossatš.² Kohe nähti selles uues diagnostilises meetodis võimsat potentsiaali arstiteaduse jaoks, seda kinnitasid järgnevad aastakümned ja kogu sajand uute füüsikaalaste avastuste ja leiutistega.³

Meditiinifüüsika- ja biomeditsiinitehnika arendus- ja teadustöö Tartu Ülikoolis (TÜ) on olnud enam-vähem pidev alates 1920. aas-

¹ „Uus valgus“, *Postimees*, 29 (05.02.1896).

² K. Villako, „Esimesed sammud röntgenologia alal Eestis“, *Nõukogude Eesti Tervishoid*, 1 (1965), 63–65.

³ K. Kepler, A. Aavik, „Füüsika meditsiini teenistuses“, *Eesti Arst*, 93(4) (2014), 235–236.

tatest,⁴ mil selle käima lükkamiseks andsid suure panuse Tartu Ülikooli arstiteaduskonna professorid Alfred Fleisch (1892–1973, aastail 1927–32 füsioloogia professor) ja Jüri Haldre (Grünthal) (1896–1949). Esimene neist andis tugeva tõuke füsioloogiliste mõõtmiste aparatuuri ehitamise traditsiooni kujunemisele Tartus, teine – meditsiinilise röntgenaparatuuri kasutamisele ja ka ehitamisele. Siiski ei alanud Eestis neil erialadel veel hulk aega süstemaatilist õppetööd.

1960. aastate alguses, ülalkirjeldatutest hoopis erinevates tingimustes, tekkis ülikooli juhtkonna tasemel idee (mis kuulus tõenäoliselt rektor professor Feodor Klementile) arendada ülikoolis biofüüsikat kui füüsikat ja arstiteadust ühendavat distsipliini. Samal ajal oli ülikooliteaduse rahastamise uue enamlubava vormina tekkinud problemlaboratoriumide moodustamise võimalus. Esimesed sellised olid teistel erialadel tollases Tartu Riiklikus Ülikoolis juba loodud. Kõik see ergutas kasutama juba olemas olnud täppisteadlaste ja inseneride koostööd meedikutega ja tõi kaasa biofüüsika ja elektrofüsioloogia problemlaboratoriumi asutamise. Selles laboris tehtud uurimistöö⁵ ning ülikooli füüsikute ja matemaatikute tööd samas suunas arendasid pinnast, millest 30 aastat hiljem võrsus biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika õpe Tartu Ülikoolis.

1960.–70. aastatel kujunes biomeditsiinitehnika- ja meditsiinifüüsikateadusele soodne keskkond, nii et neist sai tõmbevaldkond ka tudengitele. Kinnistus arusaam, et Tartus tasub teadusi õppida, sealjuures ka biofüüsikat (mille all tollal mõisteti seda, millega tegeles ülikooli uus problemlaboratorium). Siiski oli see hulk aastaid võimalik vaid individuaalprogrammide alusel ning seda võimalust mõned täppis- ja loodusteaduste tudengid ka kasutasid. Ülikoolis kasvas arusaamine uue eriala vajalikkusest. Muu hulgas mõjus 1960. aastate lõpus soodsalt, et ka Tartus hakkasid meestudengid saama õppida ilma otsekohe sõjaväkke sattumata (tollases Tallinna Polütehnilises Instituudis oli see juba varem nii).

⁴ P.-H. Kingisepp, „Alfred Fleisch (1892–1973): Professor of Physiology at the University of Tartu, Estonia“, *Journal of Medical Biography*, 19 (2011), 34–37. 10.1258/jmb.2010.010039.

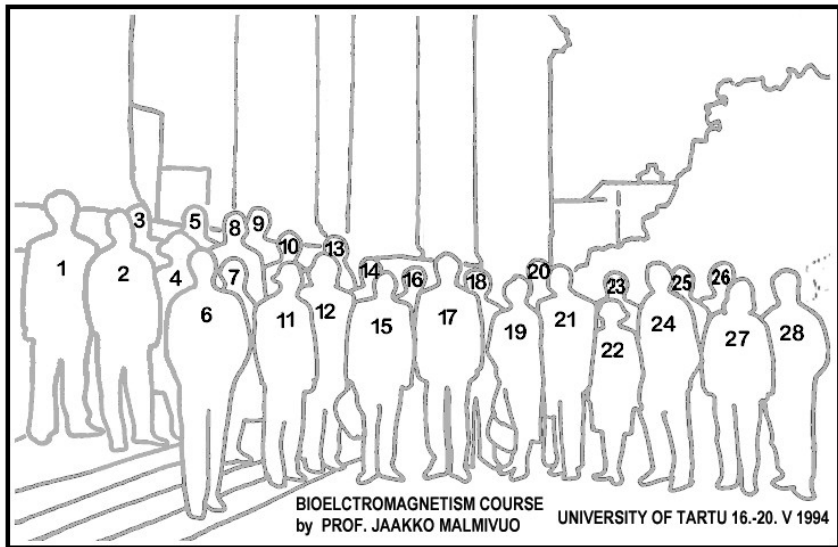
⁵ Konsultatsioon biofüüsika ja elektrofüsioloogia problemlaboratoriumis alates 1961. aastast töötanud Leo-Henn Humalaga. Vt ka artiklit K. Jagomägi, R. Raamat, J. Talts, „Füsioloogiliste protsesside uurimine ja modelleerimine ning aparatuuri arendused biofüüsika laboris“ käesolevas kogumikus.

Suured muutused 1990. aastate alguses töid paari aasta jooksul kaasa ka muutused biomeditsiinitehnika- ja meditsiinifüüsikateaduse ning vastava õppe jaoks Tartu Ülikoolis. TÜ füüsika-keemia-teaduskonnas arenesid plaanid leida füüsikaharidusega lõpetajatele uusi aktuaalseid rakendusi. Neid mõtteid kandsid tugevalt professor Hannes Tammet, kes kergitas korduvalt biomeditsiinitehnika või meditsiinifüüsika õpetamise alustamise küsimust juba alates 1991. aastast, ja professor Lembit Pung. Ka meedikud hakkasid meditsiinitehnika teadmisi ja oskusi tunnustama ning selle ala spetsialistide vajalikkust mõistma.

Nii oldi viimaks 1993. aasta sügiseks valmis asuma TÜ-s õpetama füüsikaharidusel baseeruvat biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika eriala – oli olemas piisav hulk lektoriteks sobivaid erialal kompetentseid spetsialiste ja hinnatud professoreid, kes olid valmis vajaliku vastutuse enda peale võtma. Ülikoolis kujunes 1993. aastal teaduskondade vaheline initsiatiivrühm, mis asus tegelema biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika erialase magistriõppe kujundamise ja korraldamisega. 1993. aasta sügisel toimus TÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsikaga tegelevate allüksuste ja tööruhmade esindajate koosolek, mida juhatas arstiteaduskonna esindaja professor Ain-Elmar Kaasik ning osavõtjate seas olid ka professorid Tammet ja Pung. Koosolekul otsustati avada Tartu Ülikooli füüsika õppekavas spetsialiseerumine, koolitamaks Eesti meditsiinasutustele ning muudele asutustele ja ettevõtetele spetsialiste biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika alal. Vastutavaks professoriks sai professor Lembit Pung, tööd otseselt juhtivaks õppejõuks dotsent Arved Vain. Ühel ajal Tartu Ülikooliga oli samasugusele kursile asunud ka Tallinna Tehnikaülikoolis, kus protsessi juhtis raadiofüüsika professor Hiie Hinrikus.

1994. aasta 5. jaanuaril asutati meditsiinivaldkonnaga seotud in-seneride, füüsikute ja medikute ühisel ettevõtmisel Eesti Biomeditsiinitehnika ja Meditsiinifüüsika Ühing (EBMÜ). Asutamisest võtsid osa mitmed Tartu Ülikooli töötajad nii biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika kui ka arstiteaduse aladelt.

Algatuse väga oluliseks kannustajaks sai Tampere tehnikaülikooli Ragnar Graniti instituudi direktor professor Jaakko Malmivuo. Professor Malmivuo teeneid biomeditsiinitehnika õppe avamisel ja teadustöö



- | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. Mr. Priit Humal | 10. Mr. Jaak Talts | 20. Mr. Jevgeni Krasavin |
| 2. Mr. Ivo Fridolin | 11. Assoc. Prof. Arved Vain | 21. Assoc. Prof. Ants Meister |
| 3. Assoc. Prof. Albinas Grūnovas | 12. Prof. Andris Mertens | 22. Mrs. Violetta Vain |
| 4. Mrs. Jelena Gapejeva | 13. Dr. Jüri Vedru | 23. Dr. Vytautas Dumbrava |
| 5. Mr. Vello Reeben | 14. Dr. Rein Raamat | 24. Dr. Arūnas Lukoševičius |
| 6. Mr. Mati Pirn | 15. Prof. Imants Detlavs | 25. Dr. Aldis Pukitis |
| 7. Dr. Irena-Ona Grigaliūniene | 16. Mr. Sulev Jaksman | 26. Mr. Artūras Grigaliūnas |
| 8. Assoc. Prof. Jonas Poderys | 17. Prof. Jaakko Malmivuo | 27. Mr. Linas Šinkūnas |
| 9. Mr. Peeter Loog | 18. Mr. Leo-Henn Humal | 28. Mr. Mihkel Miil |
| | 19. Prof. Hiie Hinrikus | |

Foto 1 A-B. Professor Jaakko Malmivuo bioelektromagnetismi kursusest (16.–20. mail 1994) osavõtjad Tartus: (A) – pilt osalenutest (Eduard Saki foto), (B) – pildil paiknevate isikute loetelu.

ergastamisel Eestis ja teistes Baltimaades on võimatu üle hinnata. Oma suure organiseerimisvõimega oli ta kujundanud oma koduülikoolis kõrgel tasemel biomeditsiinitehnika instituudi ning oli rahvusvaheliselt tegev selle ala propageerimisel ja õpetamisel. 1996. aastal oli temani jõudnud järg korraldada järjekordne, 10. Põhjamaade biomeditsiinitehnika konverents. Professor Malmivuo seadis eesmärgiks muuta need konverentsid edaspidi Põhja- ja Baltimaade biomeditsiinitehnika konverentsideks (Nordic-Baltic Conferences on BME). Selleks korraldas ta 1994. aasta mais nädalapikkuse intensiivkursuse bioelektromagnetismist Baltimaade biomeditsiinitehnika õppejõududele ja teaduritele (vt foto 1). Kursuse toimumiskohaks sai Tartu Ülikool, kohapealseks korraldajaks Jüri Vedru. Toimumise Tartus oli professor Malmivuo kokku leppinud TÜ tollase prorektori Jaak Aaviksooga.

Kursus aktiveeris kõigi Baltimaade teadlasi ja õppejõude ning tegi need inimesed, sealhulgas ka tartlased ja tallinlased, omavahel tuttavaks. Kursusel oli ka suur erialaselt hariv mõju. Eriti uus oli meie jaoks ülevaade bioelektromagnetismi meil seni sellel kujul vähe tuntud bioelektriliste pöördülesannete lahendamise meetodist ingliskeelse nimetusega *lead field method*. Hiljem asusime seda ka oma üliõpilastele õpetama ning nimetasime selle eesti keeles tajuvälja meetodiks. Professor kiitis selle nimetuse väga sobivaks.

Tartu Riiklikus Ülikoolis oli Leo-Henn Humal juba 1960. aastatel alustanud elektromagnetilise induktsioonkardiograafia (mida nimetame ka Foucault' kardiograafiaks) meetodi arendamist. Malmivuo antud ülevaade bioelektromagnetismi meetoditest lükkas taas käima Foucault' kardiograafia arendamise, kuna sellest selgus, et nimetatud meetodit maailmas veel üldiselt ei tuntud. Kõigis Baltimaades intensiivistus õppe- ja teadustöö biomeditsiinitehnika ja meditsiinfüüsika alal, kusjuures Eestis avati esimest korda sellealane korraline ülikooliõpe nii TÜ-s kui ka TTÜ-s.

Õppe- ja teadustöö alates 1994

Õppetöö TÜ füüsika-keemiateaduskonna füüsika eriala rakendusfüüsika suuna biomeditsiinitehnika harule spetsialiseerumisega algas 1994. aasta kevadsemestril. Õppetöö alguse ajaks oli valminud erialaste kursuste õppekava ja õpe oli tagatud lektoritega, kelleks esimestel aastatel

olid teadurid ja lektorid füüsikaosakonnast, arstiteaduskonnast ning erialaspetsialistidest lektorid väljastpoolt ülikooli (valimit õppejõududest vt foto 2). Algas praegugi kestev koostöö Eesti suurhaiglatega.

Esimesel õppeaastal registreerus biomeditsiinitehnika erialale kuus füüsikaüliõpilast, kellest enamik leidis enesele peagi ka tulevase erialase töökoha. Õppekavaarendus viis biomeditsiinitehnikat valivate üliõpilaste arvu edasisele suurenemisele. Tollane õppekava kujunes kiiresti välja ja sellesarnane õppeainete valik jäi püsima kuni TÜ ja TTÜ ühisõppekava sissetöötamise alguseni 2009. aastal. Fotol 3 on toodud näide kõige mahukama kursuse „Biomeditsiinilised seadmed ja meetodid“ tunniplaanist 1997/98. õppeaasta sügissemestril. Fotol 4 on toodud bakalaureuse- ning magistriõppe valikained ja eriained õppeaastal 1999/2000.

Tartu Ülikoolis on biomeditsiinitehnikas ja meditsiinifüüsikas tehtud tulemuslikku teadustööd. Publitseeritud on arvukalt rahvusvahelisi uurimistöid⁶ ja peetud ettekandeid, saadud mitmeid grante ja osaletud EL projektides (nt SENTINEL⁷, EVICAB⁸). On saadud meditsiinilise diagnostika seadmete patente.⁹

⁶ Nt: K. Alev, A. Vain, M. Aru, A. Pehme, P. Purge, P. Kaasik, and T. Seene, „Glucocorticoid-Induced Changes in Rat Skeletal Muscle Biomechanical and Viscoelastic Properties: Aspects of Aging“, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 41 (2018), 19–24; A. Vain, T. Kums, J. Erelaine, M. Pääsuke, H. Gapeyeva, „Gastrocnemius muscle tone, elasticity and stiffness in association with postural control characteristics in young men“, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 64 (4) (2015), 525–534; A.-L. Tamm, R. Linkberg, I. Vaher, M.-L. Luukas, M. Pielberg, E. Nigulas, L. Laanesaar, K. Pertel, K. Satsi, A. Vain, „Development of garment with elastic straps and pressure applicator in mechanotherapy to correct children’s genu valgum“, *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 3 (3) (2018), 198–202; L. Sabre, T. Tomberg, J. Kõrv, J. Kepler, K. Kepler, Ü. Linnamägi, T. Asser, „Brain activation in the chronic phase of traumatic spinal cord injury“, *Spinal Cord*, 51 (2016), 623–629; K. Kepler, A. Vladimirov, „Survey of compliance with European acceptability criteria for HVL and AEC“, *Radiation Protection Dosimetry*, 153 (2) (2013), 246–250.

⁷ CEC, *Safety and Efficacy for New Techniques and Imaging Using New Equipment to Support European Legislation* (SENTINEL) Contract No FI6R-CT-2005-012909, <https://cordis.europa.eu/docs/projects/files/12/12909/97848041-6.pdf> (22.10.2018).

⁸ European Virtual Campus for Biomedical Engineering (EVICAB), <http://www.evicab.eu/> (22.10.2018).

⁹ A. Vain, R. Linkberg, I. Vaher, A. Parm, *Mechanotherapy device and measurement method*. United States US 20170071816 A1 (2017); A. Vain, *Device and method for real-time measurement of parameters of mechanical stress state and biomechanical properties of soft biological tissues*, United States US 20130289365 A1 (2013).



Foto 2. Rühm TÜ õppejõude Põhja- ja Baltimaade biomeditsiinitehnika konverentsil 1999. aastal Tallinnas, (vasakult): Jüri Vedru, Leo-Henn Humal, Peet-Henn Kingisepp, Rein Raamat, Siim Aid (foto: erakogu).

Oluline teadustöö toimus biofüüsika ja elektrofüsioloogia laboris (praegu arstiteaduskonna füsioloogia instituudi osa) ning teistes arstiteaduskonna ja kehakultuuriteaduskonna üksustes. Olulise panuse TÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika õppe- ja teadustöö arendamise protsessi on andnud Stockholmi Karolinska ülikooli haigla meditsiinitehnikateenistuse juhataja Heikki Teriö ja Soome kiirguskeskuse (STUK) professor Antti Servomaa. Eestis ühel ajal samalaadset meditsiiniinseneri/meditsiinifüüsiku õpet välja arendama asunud Tartu Ülikooli ja Tallinna Tehnikaülikooli vahel kujunes välja tööjaotus, milles kummalgi oli oma asendamatu koht.

Üheksakümnendatel aastatel asutati mõlemas ülikoolis vastavad keskused õppe- ja teadustöö ning täienduskoolituse toetamiseks ja arendamiseks, esmalt bakalaureuse- ja magistriõppe tasemel, perspektiivis ka doktoriõppe tasemel. TÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskuse juhatajaks kinnitati 1998. aastal Kalle Kepler, kes on juhtinud seda keskust tänini.

Aastatel 1997–2000 osalesid TÜ ja TTÜ Euroopa Liidu projektis TEMPUS meditsiinifüüsika ja biomeditsiinitehnika (MF-BMT) ma-

ÕPETUSPLAAN
kursuse
"BIOMEDITSIINILISED SEADMED JA MEETODID"
kohta 1997/98. õ-a sügissemestril

Õpetajad: Arved Vain ja Jüri Vedru M. 14.15-16.00 Tähta 4-201

I. Sissejuhatus

1.kj	3.sept	L	2.t	Biomeditsiiniühik ja eraldamisviisid aine. Olgelik teooria- sõel. Biomeditsiiniühik ja meditsiiniühik ajaloost	J.Vedru
------	--------	---	-----	---	---------

II. Biomeditsiini labori meetodid ja tehnika

2.j	4.sept	L	2.t	Füüsikalise loomise põhimõtted	L.Humal
3.j	10.sept	L	2.t	Füüsikalise loomise põhimõtted (jätk)	L.Humal
4.j	11.sept	L	2.t	Loomisteknikat tutvustades.	L.Humal

III. Ohutus tehnikat ja saastepuhustus

5.j	17.sept	L	2.t	Ohutustehnika (ühised kinnitused. Meditsiinielutele elektriliste ap- paratuuride ohutus) standard IEC-601	J.Vedru
6.j	18.sept	L	2.t	Standard IEC-601 (jätk). Saastepuhustus elektriliste meditsiini- seadmete puhul.	J.Vedru

IV. Biomeditsiini labori meetodid ja tehnika (jätk)

7.j	24.sept	L	2.t	Harju-keelidest rääkimine. Mõnede närvide vahetamine Fennertile aktiivse stimulatsiooni	L.Humal
8.j	25.sept	L	2.t	Biomeditsiini meetodid: Fotometria. Fluorimetria.	L.Humal
9.kj	1.okt	L	1.t	Elektrifitseerimine. Kardiograafia.	L.Humal
		Kt	1.t	Kontrollöö	L.Humal

V. Proteesimise tehnika

A. Bioloogiliste materjalide asendajad

28.j	2.okt	L	2.t	Biomeetrite bioloogilised asendajad. Piig ja kühala Piig ja deformatsiooni vahelised. Biomeetrite bioloogiliste asendajate testimise meetodid ja aparatuur.	A.Pain
------	-------	---	-----	---	--------

B. Kunstlikud organid ja proteesid

36.j	8.okt	L	2.t	Kompositsioonidele lähimate sarnaste piigide kasutamine. Ligandide asendajate valmistamine.	A.Pain
31.j	9.okt	L	2.t	Tug- ja liikumissüsteemid ja proteesid. Silindriliste ja võrekooste proteesid. Ligandide proteesid. Endoproteesid.	A.Pain

VII. Meetodid ja aparatuur raviks

A. Elektrofisioterapial ja ultraheliterapial

25.j	4.dets	L	2.t	Püüa viia teadus alalisele ja implanteerimisele kasutamise ra- viku (galvanotsoon, elektrofores, elektrotrombocoon, chlo- rumoteraapia) Amplitudoteraapia. Infrakõrva, ultraheliter- taapia, mikrofonoteraapia. Lokaliseeritud deformatsioon Franklinotsoon. Madalagedalised magnetid.	H.Terd
26.j	10.dets	L	6.t	Ultraheliter- Ta. LSH. Fisioterapiaparatuuriga tutvustamine.	H.Terd

B. Laserkirurgia, laserravi

27.j	11.dets	L	2.t	Laserkirurgia bioloogilise teinte. Meditsiinielutele laserid. Valgus- pildid. Laserite kasutamine teraapias. Laserite kasutamine kirur- gias.	M.Kall
28.j	17.dets	Pv	2.t		M.Kall

VIII. Etikast seoses biomeditsiinielute meetoditega

32.j	18.dets	L	2.t	Etikast seoses biomeditsiinielute meetoditega	A.Pain
------	---------	---	-----	---	--------

**VI. Signaalid, meetodid ja aparatuur diagnostikas ja füsioloogiliste
süsteemide kontroll**

A. Südametgevuse jälgimine ja mõõtmine

10.j	15.okt	L	2.t	Südametgevuse füsioloogiat ja elektrofüsioloogiat. Produk- tioonid. Südametgevuse mõõtmisele eelkõige jälgimine	J.Vedru
11.j	16.okt	L	2.t	Elektrokardiograafia meetodid. Elektrokardiograafia aparatuur	J.Vedru
12.j	22.okt	L	2.t	ELG tüüpe kasutades. Püüetööd. Defibrillatsioonid	J.Vedru

B. Muud elektrofisiooloogilised signaalid ja seadmed

13.j	23.okt	L	2.t	Elektroentsefalograafia. Elektromüograafia	J.Vedru
14.j	29.okt	Pv	2.t	ELG, elektroentsefalograafia ja elektromüograafia aparatuur ja prak- tika	J.Vedru

C. Telemetria ja diagnostilise info edastamine

15.j	30.okt	L	1.t	Telemetria vajadus. Lähtekoostööd. Diagnostilise info edastamine raadio kaudu või muude vahendite kää- ru	J.Vedru
		Pv	1.t	Elektromagnetilise telemetria meetodid	J.Vedru

D. Mõõtmised vereringesüsteemis

16.j	5.nov	L	1.t	Pletnograafia. Elektivne impulsi-pletnograafia ja impu- dantsonograafia	J.Vedru
		Kt	1.t	Kontrollöö	J.Vedru
17.j	6.nov	L	2.t	Verevoolu vereringesüsteemis. Aortaflow, venoosne, kapillaarne võrk ja nende mõõtmine. Osoonid ja kasulid verevoolu mõõtme- te meetodid ja seadmed. Automaatsed mõõtmised. Verevoolu mo- nitoring	R.Haamer
18.j	12.nov	Pv	2.t	Vereingetooni modelleerimine arvuti. Rõhkmõõtu kõrge va- kus raskus	R.Haamer
19.j	13.nov	L	1.t	Automaatsed kasulid verevoolumõõtmised. Pletnograafia me- etodid. Toopõhised, etia	R.Haamer
20.j	19.nov	Pv	1.t	Verevoolumõõtme	R.Haamer
		L	2.t	Maale (enne verevoolu) eelkõige mõõtmine. Vere voolumee- mõõtmine. Verevoolu kiiruse vereringesüsteemi osades. Osoonid ja kasulid mõõtmismeetodid ja seadmed. Kiiruse mõõtmise- meetodid ja seadmed. Toopõhised. Termokineetika. Kõrva naha verevoolu mõõt. Toopõhised, etia	R.Haamer

E. Mõõtmised hingamissüsteemis

22.j	26.nov	L	1.t	Ventilatsiooni mõõtmine. Avatud ja sulatat süsteemid. Püü- mismeetodid. Spirometria	R.Haamer
		Pv	1.t	Ventilatsiooni mõõtmine	R.Haamer
23.j	27.nov	L	1.t	Gaasivahetuse mõõtmine. Vähihingetooni gaasivahetuse mõõt- mine. O ₂ , N ₂ , He, ammoniaakid. Gaasivahetuse koostise määramise me- etodid	R.Haamer
24.j	3.dets	Pv	1.t	Gaasivahetuse mõõtmine	R.Haamer
		Kt	1.t	Kontrollöö	R.Haamer

Foto 3. Kursuse „Biomeditsiinielised seadmed ja meetodid“ tunniplaan 1997/98. õppeaasta sügissemestril.

gistriõppekavade arendamisel ja kooskõlastamisel Balti riikides.¹⁰ Edasi on õppekavad täiustatud ning tudengid ja õppejõud käinud stažeerimas Rootsi suuremates haiglates (sh Karolinska ülikooli haigla) Rootsi kiirguskeskuse (SSI) juhitud rahvusvahelise projekti raames.¹¹

¹⁰ *Baltic Biomedical Engineering and Physics Courses, Joint European Structural Project TEMPUS S-JEP-12402-97 (1997–2000);* <http://www.bimi.vip.lv/BaltTemp.html> (22.10.2018).

¹¹ K. Kepler, K. Meigas, *Education and training of medical physicists in Estonia. International Conference on Education and Training of Medical Physicists, 7–8 April 2003, Kaunas, Lithuania* <http://www.ut.ee/BM/pdf/Kaunas2003.pdf> (20.10.2018); K. Kepler, „Present situation of education of medical physicists in Estonia“, *Development of Radiation Protection in Medical Radiology in the Baltic States (Part 2: Proceedings of final seminar „Education and Training of Medical Physicists in the Baltic States“, Jurmala, Latvia, 21–22 October, 2004), Swedish Radiation Pro-*

Magistriõppe eriained biomeditsiinitehnikas ja meditsiinfüüsikas	
1. Mõõtmismeetodid	2 AP
2. Mikroprotsessortechnika	5 AP
3. Mõõte- ja juhtimissüsteemid	2 AP
4. Mõõtmistulemuste töötlus	2 AP
5. Signaalitöötluse alused	2 AP
6. Kujutiste töötlemine	2 AP
7. Süsteemide identifitseerimine ja modelleerimine	2 AP
8. Metroloogia alused	2 AP
9. Meditsiinilise diagnostika ja teraapia meetodid ja aparatuur AP	2
10. Ortopeedilised materjalid, aparaadid ja proteesid	2 AP
11. Meditsiiniline biomehaanika	3 AP
12. Biomeditsiinitehnika matemaatilised meetodid	2 AP
13. Skeletilihaste funktsionaalse seisundi biomehaaniline diagnostika	2 AP
14. Elussüsteemid	1 AP

Bakalaureuseõppe kava (nõutav kogumaht - 40 ainepunkti) valikained	
1. Funktsionaalse anatoomia ja biomehaanika alused 48 t. 6. sem. eksam	3 AP
2. Inimese füsioloogia I 32 t. 6. sem. arvest.	1 AP
3. Inimese füsioloogia II 32 t. 7. sem. eksam	2 AP
4. Biomeditsiinilised seadmed ja meetodid 64 t. 7. sem. eksam	4 AP
5. Sissejuhatus bioobjektide ja protsesside visualiseerimisse 32 t. 8. sem. eksam	2 AP
6. Meditsiinis kasutatavad kiirgused 32 t. 8. sem. eksam	2 AP

Magistriõppe kava (nõutav kogumaht - 80 ainepunkti)	
1) Vabad ained füüsika üldkõikumustes	6 AP
2) Vabad ained matemaatika ja arvutõpetuse üldkõikumustes	4 AP
3) Eriained biomeditsiinitehnika ja meditsiini- füüsika eriainetel loetelust	26 AP
4) Magistriksam füüsikas	4 AP
5) Magistritöö	40 AP

Foto 4. Biomeditsiinitehnika ja meditsiinfüüsika bakalaureuse ning magistriõppe valikained ja eriained õppeaastal 1999/2000.

Praeguseks on TÜ-s välja õpetatud 54 bakalaureusetasemel ja 42 magistrikraadiga füüsikut kitsama spetsialiseerumisega meditsiinfüüsika ja biomeditsiinitehnika (meditsiinitehnoloogia) alal. Kaitsitud on kolm doktoriväitekirja (Jaak Talts, Eduard Gerškevitš, Kalle Kepler).

Aastail 2006–07 osalesid TTÜ biomeditsiinitehnika keskus ja TÜ eksperimentaalfüüsika instituut koos europrojekti EVICAB biomeditsiinitehnika e-õppe korraldamiseks.¹² 2005. aasta esimesel poolel valmistasid TTÜ biomeditsiinitehnika keskus ja TÜ meditsiinfüüsika keskus ette TTÜ ja TÜ ühise mahuka projektitaotluse Euroopa

tection Authority (SSI/SIUS) (Stockholm, Sweden, 2004), 21–26 <http://www.ut.ee/BM/pdf/Jurmala2004-1.pdf> (22.10.2018).

¹² European Virtual Campus for Biomedical Engineering (EVICAB), <http://www.evicab.eu/> (22.10.2018).



Foto 5. TÜ ja TTÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika õppejõud ja meditsiinitehnika firmade esindajad koos üliõpilastega aastal 2011 visiidil Stockholmi Karolinska ülikooli haiglasse. Esireas õppejõud vasakult: Arved Vain (TÜ), Kalju Meigas (TTÜ), Ivo Fridolin (TTÜ), Kalle Kepler (TÜ) (Jüri Vedru foto).

Liidu struktuurifondide meetme 1.1 projekti „Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika uus õppesüsteem Eestis“ teostamiseks.¹³ Kuid TTÜ läks välja taotlusega, mis rahuldati ja seejärel rahastati projektina „Biomeditsiinitehnika inseneride uuendatud ning tööjõuvajadusi arvestav kõrghariduse ja kutsekvalifikatsioonisüsteem Eestis“ aastatel 2005–08 ilma TÜ osaluseta. Vaatamata ülikoolide juhtkondade vahelistele leigetele suhetele püsis õppejõudude ja teadlaste koostöö MF-BMT valdkonnas isiklike erialaste töökontaktide kaudu konstruktiivne ja viljakas.

¹³ TTÜ-TÜ, „Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika uus õppesüsteem Eestis“, Meede 1.1 projektitaotlus (mai 2005), TTÜ projekt „Biomeditsiinitehnika inseneride uuendatud ning tööjõuvajadusi arvestav kõrghariduse ja kutsekvalifikatsioonisüsteem Eestis“ (2005–2008): http://www.cb.ttu.ee/index.php?option=com_content&task=view&id=41&lang=et (22.10.2018).

Ühistööst annab tunnistust ka MF-BMT spetsialistide ühine kutse kvalifikatsioonisüsteem Eestis – näiteks volitatud biomeditsiinitehnikainseneri kutse võivad omandada nii TTÜ kui ka TÜ vastava haridusega ja piisava erialase (nt kliinilise) töökogemusega spetsialistid.

Õppetöö arendamisel oli murranguline aastatel 2009-2012 toimunud TÜ ja TTÜ ühise biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika magistriõppekava väljatöötamise pilootprojekt.¹⁴ Selle tulemusena rakendus alates aastast 2013 ülikoolidevaheline biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika ühisõppekava. Projekti raames korraldati muu hulgas TÜ ja TTÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika õppejõudude ühine visiit Stockholmi Karolinska ülikooli haiglasse (foto 5).

Arendustegevus

Viimase aja MF-BMT arendustöödest Tartu Ülikoolis on tuntuim rahvusvaheliselt patenteeritud müomeeter,¹⁵ mis on ligi 300 komplektina jõudnud kasutusse paljude riikide uurimis- ja raviasutustes, sealhulgas aastal 2009 Vene Kosmosemeditsiini keskus ja aastal 2018 rahvusvahelises kosmosejaamas (ISS).

Seadet peetakse kasulikuks kosmoselennul osalejate lennujärgse taastusprogrammi efektiivsuse jälgimisel. Müomeetrilise meetodi ja seadme leiutas insener ja bioloogiadoktor Arved Vain. Seni peamiselt arstide, teadusasutuste ja tippsporlaste käsutuses olnud Eesti leiutisele on nüüd leitud uus väljund. Idee kasutada Myotonit astronautide füsioloogilistes uuringutes käisid eestlased Venemaa ja Euroopa kosmosemedikutele välja 2008. aastal Glasgow 59. astronauitikakonverentsil. Venelased võtsid kohe vedu, juba paari kuu pärast alustati uuringuid ja saadi positiivsed referentsid. 2009. aastal testiti Myotonit Moskvaa kunstlikule nullgravitatsioonile ligilähedases keskkonnas. Selle loomiseks kasutatakse veevanni, kus vaatlusalu-

¹⁴ K. Kepler, K. Meigas, J. Holmar, „Joint biomedical engineering and medical physics master’s curriculum project in Estonia“, *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering May 26–31, 2012 Beijing, China, IFMBE Proceedings*, 39 (2012), 1691–1693.

¹⁵ Müomeetria. Firma Myoton kodulehel. <http://www.myoton.com/myometry.php> (22.10.2018); P. Mäeniit, A. Olesk, *Head Eesti asjad: leidused ja leiutajad* (Tallinn: Tänapäev, 2017), 136–137.



Foto 6. Katsed müomeetriga Euroopa Kosmoseagentuuri (ESA) korraldatud paraboollendudel (foto ESA arhiivist).

ne eraldatakse otsesest kontaktist veega puuvillkanga ning õhukese talgiga kaetud kummikangaga. Uuringualune hõljub justnagu vees, kuid tema keha veega kokku ei puutu. Viibides sedalaadi vannis päevi, hakkavad lihased taandarenema ehk atrofeeruma – täpselt sama juhtub astronautidega kosmoses kaaluta olekus. Kindlate intervallide tagant tõsteti uuringualune välja ja mõõdeti Myotoniga tema lihaseid. Mõõtmistulemused, mis näitasid imiteeritud nullgravitatsiooni mõju lihaste biomehaaniliste omadustele, visualiseeriti arvutis.

Myoton võimaldab mehitatud lendudel seirata treeningute efektiivsust ja saada objektiivset infot, millisel tasemel astronauti lihased antud treeningukoormusel stabiliseeruvad.¹⁶

Euroopa Kosmoseagentuur (ESA) korraldas 2010. ja 2012. aastal kaks seeriat müomeetri uuringuid paraboollendudel, kus tekitatakse 22 sekundiks kaaluta olek (vt foto 6). Tulemuste analüüsi järel konstateeriti, et seadet sobib kasutada astronautide ettevalmistamisel ja ka nende rehabiliteerimisel pärast tagasijõudmist Maale.

Lisaks kosmosekatsetustele rakendatakse Myotonit ka mujal. Praegu on üle maailma – Eestis, Soomes, Lätis, Leedus, Itaalias,

¹⁶ Toivo Tänavsuu, „Eesti leiutis pakitakse vene kosmonautide pagasisse“, *Inseneeria*, 4 (2009), 10–13.

Venemaal, Hiinas, Taivanis, USA-s ja mujal – kasutusel kokku üle 300 Myotoni. Seadet kasutatakse kümnekonna Itaalia haigla taastusraviosakonnas. Ka Moskva rehabilitatsioonikeskuses mõõdetakse Myotoniga patsientide taastusravi tõhusust. Nii saab konkreetseid arvulisi näitajaid lisaks sellele, mida patsient ise harjutuste kohta ütleb, ning vajaduse korral teeb füsioterapeut ravikuuri kiired muutused. Hiinas mõõdetakse Eesti leiutise abil kikkpoksijate lihastoonust. Seade pole võõras ka Eesti suusatiimile ning kettaheite suurkujude Gerd Kanteri ja Virgilijus Alekna taustajõududele.¹⁷

Koostöö haiglatega, meditsiiniseadmete kvaliteedi tagamine

Tänu Maarjamõisa haiglas töötanud füüsikule Siim Aidile tekkis kontakt Eesti Ameerika fondiga, kellega sideme tugevust näitab kahtlemata nende märkimisväärne abi meditsiinifüüsika ja biomeeditsiinitehnika õppele olukorras, kus ülikoolipoolne alarahastamine seadis edasikestmise küsimärgi alla. Eesti Ameerika fondi poolne oluline isik nende sidemete toimimisel oli Eestis sündinud USA tipparvutiteadlane Ole Golubjatnikov (1930–2004). Tänapäevast toetab fond kõnealuseid magistriõpinguid Eestis Ole Golubjatnikovi nimelise stipendiumiga.

Meditsiinitehnoloogia spetsialistide, sh meditsiinifüüsikute vajalikkus haiglates on üldtunnustatud nii Euroopa Liidus (eurodirektiiv 2013/59/Euratom) kui ka Eestis. Lisaks on see vajadus tuntav meditsiinitehnika hooldusega tegelevates erafirmades, samuti riiklikes järelevalveasutustes.

Sotsiaalministeeriumi ja Eesti Tervishoiuprojekt 2015 tellimisel on Eesti Haiglate Liidu, TÜ ja TTÜ koostöös Eesti Biomeditsiinitehnika ja Meditsiinifüüsika Ühinguga valminud Eesti meditsiinitehnoloogia arengukava (värskendatud aastal 2012),¹⁸ kus esitatakse puudused ja vajadused MF-BMT spetsialistide ettevalmistamisel ja täienduskoolituses. Sotsiaalministeerium on igal järgneval aastal lisanud tervishoiuvaldkonna töötajate koolitustellimusse nii TÜ-

¹⁷ Samas.

¹⁸ EBMÜ „Meditsiinitehnoloogia arengukava“, 2012 http://www.physic.ut.ee/ebmy/MTarengukava_2012_ver_6.pdf (22.10.2018).

It kui ka TTÜ-lt kummaltki 10 MF-BMT magistrit, keda on vaja, täitmaks selle ala spetsialistide ilmset puudust haiglates (vajaduseks hinnati 20 spetsialisti aastas) ja ühtlasi täitmaks Euroopa direktiivi 2013/59/Euratom nõudeid meditsiinifüüsika spetsialistidega varustatuse kohta liikmesriikide haiglate radioloogiaosakondades. Aastal 2008 Riigikontrolli tehtud analüüsis¹⁹ on rõhutatud MF-BMT spetsialistide kestvaid vajakajäämist Eesti tervishoiuasutustes: meditsiinitehnikaga tegelevate töötajate koguarvust (hinnanguliselt 33, lisaks meditsiiniharidusega kohusetäitjad) vähemalt kahel kolmandikul puudub vastav erialane kõrgharidus, üheksas haiglas puuduvad vastava kõrgharidusega spetsialistid üldse. Kui arvestada meditsiinitehnoloogia spetsialistide välismaalt Eestisse palkamise kõrget hinda, ei ole Eestil otstarbekas hakata tulevikus sellealast kompetentsi sisse ostma ja tuleb arendada vajalike töötajate väljaõpetamist oma kõrgkoolides.

TÜ on füüsika baasharidusest lähtudes asetanud MF-BMT integreeritud õppekava väljatöötamisel rõhuasetuse meditsiinifüüsikale. Rahvusvahelises praktikas on ajalooliselt välja kujunenud eraldi erialad: meditsiinifüüsika – seotud meditsiiniradioloogia ja rakendusfüüsikaga, ning biomeditsiinitehnika – seotud pigem mitteradioloogiliste tehnikate ning inseneriteadusega meditsiinis; vrd EFOMPi (European Federation of Organisations For Medical Physics) nõuded meditsiinifüüsika õppekavadele. Samal ajal on TTÜ võtnud aluseks rahvusvahelised nõuded inseneriharidusele; vrd FEANI (European Federation of National Engineering Associations) nõuded inseneridele. Eesti väiksuse tõttu ei ole siin kummagi eriala eraldi õpet mõttekas välja arendada.

Kuid MF-BMT valdkonna ulatuslikkuse ja interdistsiplinaarsuse tõttu on otstarbekas kasutada ära nii TÜ kui ka TTÜ potentsiaal, et võimaldada nende tervishoiusüsteemi jaoks oluliste ja erinevate (kas füüsiku või inseneri baasharidusega) spetsialistide mitmekülgset ettevalmistamist. Tartu Ülikoolil on seetõttu täita Eestile tähtis funktsioon: varustada tervishoiusüsteem nõutavate meditsiinifüüsikutega arstiabi üldise kvaliteedi tagamiseks. Tartu Ülikooli Kliinikumi

¹⁹ Riigikontrolli aruanne, „Meditsiiniseadmete soetamine ja kasutamine tervishoiuasutustes – Kui palju on Eesti haiglates radioloogilisi meditsiiniseadmeid ja kuidas neid kasutatakse?“ (September 2008).



Foto 7. Tartu Ülikooli katsekoja meditsiinifüüsikud on teostanud diagnostiliste röntgeniseadmete kvaliteedikontrolli mõõtmisi alates 1996. aastast, kaasates vastavasse praktikasse ka meditsiinifüüsika üliõpilasi. Pildil juhendab mõõtmisi Anatoli Vladimirov (K. Kepleri foto).

(TÜK) varustatus kõrgtehnoloogilise aparatuuriga on piisav õppetöö baasiks. TÜ ja TÜK-i senine koostöö ja praktikabaaside lähedus võimaldavad õpet optimaalselt ja tõhusalt teostada.

TÜ meditsiinifüüsikute koostööd raviasutustega ilmestavad ka diagnostiliste röntgeniseadmete kvaliteedikontrolli katsetused ja mõõtmised alates 1996. aastast. Pärast võrdlusemõõtmisi STUKI-s ja Karolinska ülikooli haiglas saadi aastal 2003 vastavale metoodikale Eesti Akrediteerimiskeskuse (EAK) akrediteering ühe katselaborina Tartu Ülikooli katsekojas.²⁰ Akrediteeritud labori teenust pakutakse haiglatele tänini (vt foto 7).

²⁰ K. Kepler, A. Vladimirov and A. Servomaa, „Interlaboratory comparison and accreditation in quality control testing of diagnostic X-ray equipment“, *Radiation Protection Dosimetry*, 114 (1–3) (2005), 198–200.

Edasise arengu väljavaated

Eesti tervishoiusüsteemi ja haridussüsteemi jaoks on ilmselt optimaalne interdistsiplinaarse valdkonna spetsialistide koostöö riigi kahe juhtiva ülikooli koostöös. Nüüdseks on biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika ühisõppekava näidanud oma elujõudu ja efektiivsust juba kaheksa aasta jooksul. Paraku võivad ühisõppekava tulevikväljavaated meist mitteolenevatel põhjustel osutada küsitavaks, kui väljaõppe väljund seatakse sõltuvusse mitte tervishoiusüsteemi vajadustest, vaid pigem ärilistest kaalutlustest.

Arengusuunad võivad olla mitmesugused, kuid teatud aastate möödudes võib selguda, et ühiskonnast tulenev vajadus paneb meid pöörduma uuesti seniste heade koostöötavade juurde.



Kalle Kepler, PhD (rakendusfüüsika), on meditsiinifüüsika vanemteadur TÜ Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskuses

Arved Vain, PhD (bioloogia), on biomehaanika dotsent TÜ Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskuses

Jüri Vedru, knd (bioloogia), on TÜ Loodus- ja täppisteaduste valdkonna emeriitdotsent

Medical physics and biomedical engineering through the centuries in the University of Tartu

KALLE KEPLER, ARVED VAIN, JÜRI VEDRU
University of Tartu Institute of Physics

The first X-ray equipment was built and X-rays were produced in the University of Tartu (UT) in early 1896, just months after W. C. Röntgen's discovery. Quite soon the invention was taken into use in diagnostic medicine. It was the beginning of the development and application of medical physics in Estonian hospitals. In the 1920s X-ray equipment was built for clinical use in the Tartu University Hospital.

The first special curriculum for medical physics and biomedical engineering was launched in UT in 1994. The joint curriculum pilot project with Tallinn Technical University lasted from 2009 to 2012, while the joint curriculum has been implemented since 2013. 54 Bachelor's level, 42 Master's level and 3 Doctoral students have graduated from the University of Tartu in the field of medical physics and biomedical engineering since 1994. One of the most famous inventions of UT scientists in the field of biomechanics is the myometer invented by Arved Vain. The myometric method and device have been applied in Estonia and many other countries, including in preparing astronauts before space flights and in their rehabilitation after landing.