

## Nagysebességű EEG feldolgozás

Dr. Juhász Zoltán, Pannon Egyetem, Veszprém,  
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék

Az EEG technológia a klinikai és kognitív idegtudományok meghatározó eszköze. Az egyre fejlettebb mérőkészülékek és feldolgozási technológiák alkalmazása jelentős számítási időket eredményez. Cikkünkben a párhuzamos feldolgozás, azon belül is a grafikus kártyák alkalmazásának lehetőségeit vizsgáljuk meg, és egy jel-feldolgozási példa optimalizálása segítségével illusztráljuk az elérhető teljesítményt.

*EEG technology is a fundamental tool in clinical and cognitive neuroscience. The application of state-of-the-art measurement instruments and sophisticated processing methods result in considerable execution times. In this paper we explore the possibilities of applying parallel computing technologies, especially graphics processors, and illustrate using an optimised signal processing example the achievable computational performance.*

### BEVEZETÉS

Tanszékünkön évek óta foglalkozunk a nagysebességű EEG feldolgozás mérnöki kérdéseivel. A munka aktualitását az adja, hogy az EEG technológia fejlődésének köszönhetően egyre több elektródával és egyre magasabb mintavételi frekvencián tudunk méréseket végezni. Az így megnövekedett adatmennyiség feldolgozása azonban értelemszerűen egyre több időt igényel. Munkánk egy további motivációja az is, hogy az elmúlt évtizedben alapvetően változott meg a feldolgozás alapját jelentő mikroprocesszorok felépítése. A többmagos processzorok általános elterjedése ma már megköveteli a párhuzamos feldolgozási módszerek alkalmazását, melyek során a számítási részfeladatokat a számítógép nem egymás után, hanem egyidőben hajtja végre. Az EEG kutató közösség körében elterjedten használt feldolgozó programok azonban sajnos nem, vagy csak kis mértékben használják ki a párhuzamos feldolgozás lehetőségeit, és így a modern processzorokban rejlő valós teljesítményt. Ebben a cikkben a nagysebességű feldolgozás mérnöki kérdéseit vizsgáljuk meg, és egy egyszerű feldolgozási feladat segítségével illusztráljuk a lehetőségeket, valamint a megoldásra váró feladatokat.

### AZ EEG FELDOLGOZÁS FŐ LÉPÉSEI

A korai EEG mérőkészülékek 16-32 elektródát (csatornát) támogattak, 100-200 Hz mintavételi frekvencia mellett. Mivel az EEG legfontosabb előnye más vizsgálati –képalkotó rendszerekhez képest a rendkívül jó időbeli felbontás, az EEG

technológia fejlődésével az alkalmazható mintavételi frekvencia folyamatosan emelkedik. Jellemzően, a térbeli felbontást javítandó, ezzel egyidőben az elektródák száma is nő. Kutatási környezetben nem ritkák a 128-256 elektródás EEG készülékek, amik 2048-4096 Hz mintavételi frekvenciát is támogatnak. A mérési adatok fájlban tárolódnak, a további feldolgozás ezen adatok beolvasásával kezdődik. Az 1. és 2. táblázat rávilágít arra, hogy az elektródaszám és a mintavételi frekvencia együttes növelése milyen mértékben növeli meg az adattárolási igényeket. Az 1. táblázat egy tipikusnak mondható kognitív vizsgálat mérési időtartamát (kb. 15 perc), míg a 2. táblázat az epilepszia vagy alváskutatás során alkalmazott többórás folyamatos monitorozás során generált adatok méretét tartalmazza az elektródaszám és mintavételi frekvencia függvényében.

Elektródaszám	Mintavételi frekvencia (Hz)			
	256	512	1024	2048
32	21.09	42.19	84.38	168.75
64	42.19	84.38	168.75	337.50
128	84.38	168.75	337.50	675.00
256	168.75	337.50	675.00	1350.00

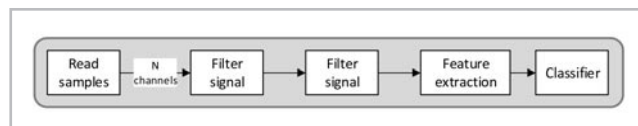
1. táblázat  
15 percnyi EEG felvétel tárolási igénye MByte-ban.

Elektródaszám	Mintavételi frekvencia (Hz)			
	256	512	1024	2048
32	0.66	1.32	2.64	5.27
64	1.32	2.64	5.27	10.55
128	2.64	5.27	10.55	21.09
256	5.27	10.55	21.09	42.19

2. táblázat  
8 órányi EEG felvétel adattárolási igénye GByte-ban.

Ekkora adatfájlokknak csak a mozgatása, másolása is jelentős időt igényel, azonban feldolgozás nélkül ezek az adatok nem sok információt szolgáltatnak. Az EEG jelek feldolgozása azonban komplex, időigényes feladat. A fejbőrön mért jel amplitúdója néhány  $\mu\text{V}$ , amit jelentős biológiai és elektromos eredetű zaj és műtermék (pislogás, bőrellenállás okozta drift, izommozgás, 50 Hz-es tápellátási zaj stb.) terhel. Emiatt nyers EEG jeleket szinte soha nem használunk elemzésre; szükséges különböző zajcsökkentési előfeldolgozó lépések végrehajtása. Az előfeldolgozást – a cél függvényében – különböző jellemzők kinyerése, majd klasztere-

zés, osztályozás, statisztikai elemző lépések követhetnek. Egy ilyen tipikus feldolgozási láncot mutat be az 1. ábra. A feldolgozást általában kiegészítik különböző adat-vizualizációs lépések is (pl. EEG grafikon, spektrum, idő-frekvencia diagram, anatómiai képek, potenciál eloszlás megjelenítése).



1. ábra  
Egy tipikus EEG feldolgozási folyamat lépései.

A jelszűrés szakaszban különféle felül- és aluláteresztő szűrők, lyukszűrők (50 Hz-es hálózati zaj eltávolítása), sáv-szűrők – pl.  $\alpha$  (8-12 Hz),  $\beta$  (13-35 Hz),  $\gamma$  (35-70 Hz),  $\delta$  (0,75-5 Hz) sávokra bontás –alkalmazására lehet szükség. A további lépésekben Fourier- és wavelet transzformáció, főkomponens (PCA) vagy független komponens (ICA) analízis, statisztikai jellemzők számítása, vagy k-means klaszterezési algoritmus jelenhet meg.

### AZ EEG FELDOLGOZÁS MÉRNÖKI VETÜLETE

Ahogy az EEG feldolgozási módszerek folyamatosan fejlődnek, egyre kifinomultabb és bonyolultabb algoritmusok szükségesek a megfelelő eredmény eléréséhez. A nagy adatmennyiség és az algoritmusok bonyolultsága együttesen azt eredményezi, hogy az EEG feldolgozás nagyon időigényes folyamat. Egyszerűbb esetekben néhány perc a feldolgozási idő, azonban nem ritkák a több órás futási idők sem. Ebben a cikkben a mérnöki kérdésekre koncentrálnak. Ebből a szempontból a legfontosabb kérdés, hogy szükséges-e gyorsítani az EEG feldolgozás idejét. Egyszerűen belátható, hogy ha lehet, nem szeretnénk órákat várni egy néhány perces EEG felvétel kiértékelésére. Vannak ráadásul olyan területek, pl. valós-idejű monitorozás, Brain-Computer-Interface alkalmazások, ahol nem lehet várakozni, a mérés során valós időben kell a feldolgozást elvégezni. A második kérdés, hogy lehet-e gyorsítani a feldolgozást. Ezt a kérdéskört vizsgáljuk meg a cikk hátralévő részében.

A nagysebességű feldolgozás két elemi művelete:

- a számítási rendszerben történő adatmozgatás, illetve
- a feldolgozás.

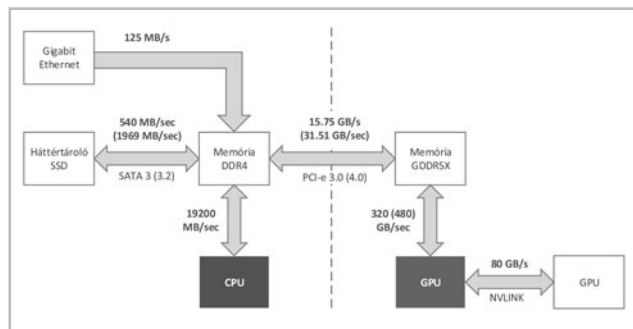
Első lépésként megvizsgáljuk mi a minimálisan szükséges idő a nagyméretű EEG adatok másolásához, majd rátérünk a feldolgozás gyorsításának vizsgálatára.

### ADATMOZGATÁS

A feldolgozás során az EEG adat a perifériáról (háttértároló, hálózat) előbb a számítógép memóriájába, majd a processzorba kerül. Ezeket a részegységeket eltérő adatátviteli sebességű kommunikációs csatornák kötik össze. A 2. ábrán látszik egy mai modern számítógép belső rendszertechnikai

felépítése, az egyes részegységeket összekötő kommunikációs rendszerek és átviteli sebességük feltüntetésével. Jó látszik, hogy az adatátviteli útvonalakon a hálózat és a merevlemez jelenti a szűk keresztmetszetet. A rendszer többi modulja >10 GB/sec sávszélességű.

### Nagymennyiségű adat feldolgozása



2. ábra  
Egy modern számítógép egységei közötti adatátviteli sebességek.

A fentiek alapján, vizsgáljuk meg a fájl beolvasási idők alakulását különböző méretű EEG fájlok esetén, merevlemez-en történő tárolás esetén. A mérés során az alábbi paramétereket használtuk (128 EEG csatorna, mintavételi frekvencia = 2048 Hz, mintánként 24 bit adattárolási méret). A merevlemez típusa: Toshiba MK5061GSY, 500 GB, SATA 3Gb/s, az effektív adatátviteli sebesség kb. 50-70 MByte/sec.

EEG adatmennyiség	Mbytes	Olvasási idő 60 MB/s esetén	
1 perc	47.18	0.78	sec
1 óra	2831.15	47.18	sec
8 óra	22649.24	6.29	min
24 óra	67947.72	18.87	min

3. táblázat  
128-csatornás EEG adatfájlok beolvasási ideje merevlemezről

### FELDOLGOZÁSI IDŐ

Az EEG feldolgozás számítási igényét egy egyszerű példával demonstráljuk. A fent említett előfeldolgozási lépésben, jó tulajdonságai miatt előszeretettel használunk FIR (Finite Impulse Response) szűrőket az EEG jelek szűrésére. A 4. táblázatban látható különböző méretű és számú FIR szűrő végrehajtási ideje 1 másodpercnyi mintán. Látható, hogy magas fokszámú szűrők, vagy több szűrő egymás utáni alkalmazása esetén a futási idő meghaladhatja az 1 másodpercet. A programunk ekkor már nem alkalmas valós-idejű feldolgozásra, illetve tárolt adatok esetén már ilyen egyszerű műveletek elvégzésekor is tovább fog tartani a feldolgozás, mint a mérés eredeti időtartama (pl. egyórás mérés esetén csak a szűrés végrehajtása meghaladhatja az egy órát).

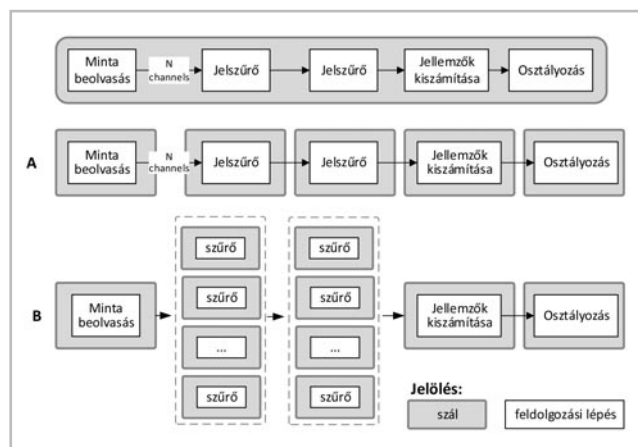
Konfiguráció	Futási idő (msec)	
	C	Java
1 FIR szűrő (hossz =101)	18.343	22.008
4 FIR szűrő (hossz =101)	71.433	88.182
1 FIR szűrő (hossz =1001)	143.680	177.073
4 FIR szűrő (hossz =1001)	577.304	705.133
8 FIR szűrő (hossz =1001)	1151.971	1413.402

4. táblázat  
1 mp EEG szűrése, 2048 minta, 128 csatorna

A teljes feldolgozási láncban további, gyakran jóval időigényesebb algoritmusok végrehajtására is szükség van, ezért a gyorsítás nagyon fontos tervezési cél. A jelenlegi számítástechnikai technológia alkalmazásával, a kívánt sebességnövekedés csak párhuzamos végrehajtási és programozás módszerekkel biztosítható.

### PÁRHUZAMOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEK

A feldolgozási lánc szekvenciális végrehajtása mellett lehetőség van ún. pipeline architektúra használatára is. Ebben a rendszerben a lánc egyes szakaszai külön processzoron futnak, egymással egyidőben (3.A ábra). A végrehajtás egy gyári szerelőszalag működésére hasonlít. Ideális esetben a processzorok számával arányosan nő a számítási teljesítmény, és az egyes processzorok a meglévő szekvenciális algoritmusokat tudják futtatni, így nincs szükség új párhuzamos algoritmusok kifejlesztésére. További processzorok rendelkezésre állása esetén az egyes csatornák szűrése párhuzamosan is végrehajtható (3.B ábra).



3. ábra  
EEG feldolgozás párhuzamosítása egyszerű (A) és párhuzamos pipeline (B) architektúrával.

### GRAFIKUS KÁRTYÁK ALKALMAZÁSA

A felvázolt párhuzamosítási módszerekkel hagyományos CPU-alapú architektúrákon elérhető gyorsulást a processzorok mag száma limitálja. Négy- vagy nyolcmagos processzor

esetén a gyorsulás nem lehet négynél vagy nyolcnál több. Ez alapján belátható, hogy átlagos számítógépeken 10-szeres gyorsulás feletti érték nem érhető el.

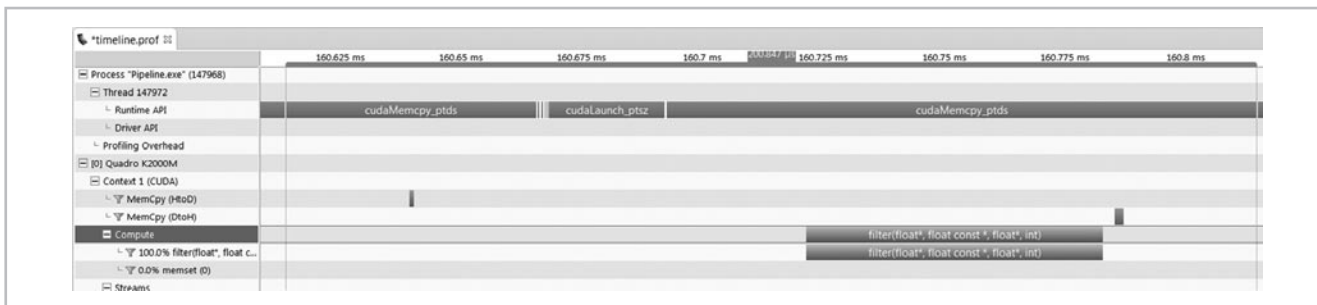
A háromdimenziós megjelenítés céljaira kifejlesztett grafikus kártyák processzorai (GPU) az elmúlt évtizedben hatalmas fejlődésen mentek keresztül. Amellett, hogy általánosan programozható processzorokká váltak, a teljesítményük több százszorosa a hagyományos CPU magokénak. A legnagyobb teljesítményű GPU-k több ezer magot tartalmaznak, teljesítményük a teraflops ( $10^{12}$  aritmetikai művelet másodpercenként). Ez a teljesítmény azonban megköveteli a nagyfokú párhuzamos, több tízezer egyidejű folyamat végrehajtását biztosító párhuzamos algoritmusok kifejlesztését, valamint a rendszer architektúra és működési paramétereit figyelembe vevő, kifinomult teljesítmény-optimalizálási módszerek alkalmazását. Az alábbiakban erre mutatunk néhány példát.

A példa alkalmazásban 128 csatorna szűrése zajlik 101-elemű FIR szűrő segítségével. Az első implementációban az egyes csatornák szűrése párhuzamosan zajlik szekvenciális szűrő algoritmus segítségével. Az így elérhető maximális gyorsulás a csatornák számával azonos, azaz 128, ami jóval magasabb, mint a CPU esetén elérhető maximum 10 körüli gyorsulás. A 4. ábrán látható ezen implementáció végrehajtásának idődiagramja egyetlen mérési adat esetén. A végrehajtás első lépése a mérési adat CPU memóriából GPU memóriába másolása (MemCpy HtoD), majd a szűrés futtatása (filter), végül az eredmény visszamásolása a CPU memóriába (MemCpy DtoH). Az ábrán jól látható a memória művelet és szűrés között várakozással elvesztegetett GPU idő.

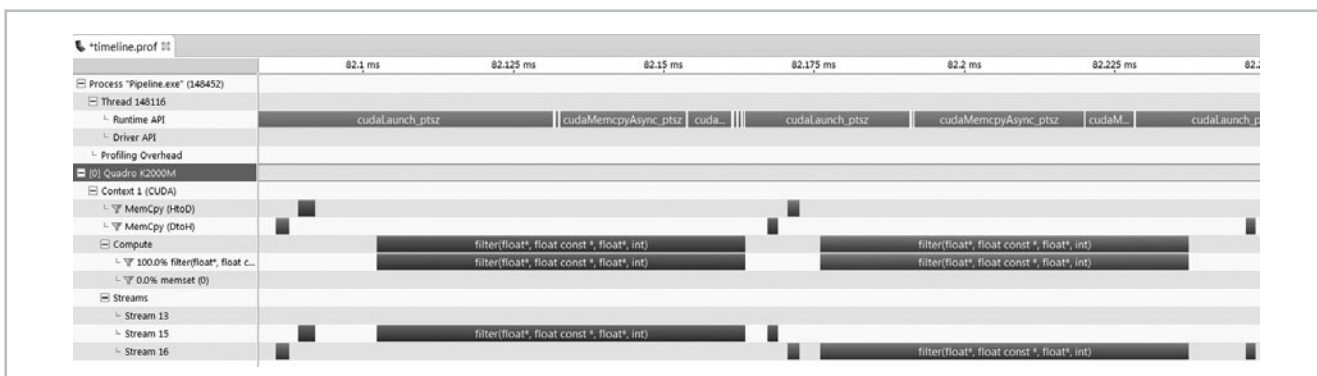
Az 5. ábrán egy javított implementáció végrehajtása látható, ahol aszinkron memória műveletek és stream-ek alkalmazásával ez az üresjárat idő jelentősen lecsökkent.

Mivel a GPU több ezer számítási egységet tartalmaz, nem szükséges 128 csatornára korlátoznunk a párhuzamosítást fokát. Implementálhatjuk valamennyi szűrőt önmagában párhuzamosan, ekkor minden szűrő 101 összeadás-szorozás művelet párt hajt végre egyidejűleg, egy 128 x 101 párhuzamos végrehajtási szál tartalmazó konfigurációban. A 6. ábrán ennek a megvalósításnak a futási diagramját ábrázolja két szűrő egymás utáni végrehajtása esetén. Jól látható a lerövidült szűrő végrehajtási idő és a lecsökkent üresjárat idő, illetve az, hogy kb. 40 msec a teljes mintánkénti feldolgozási idő.

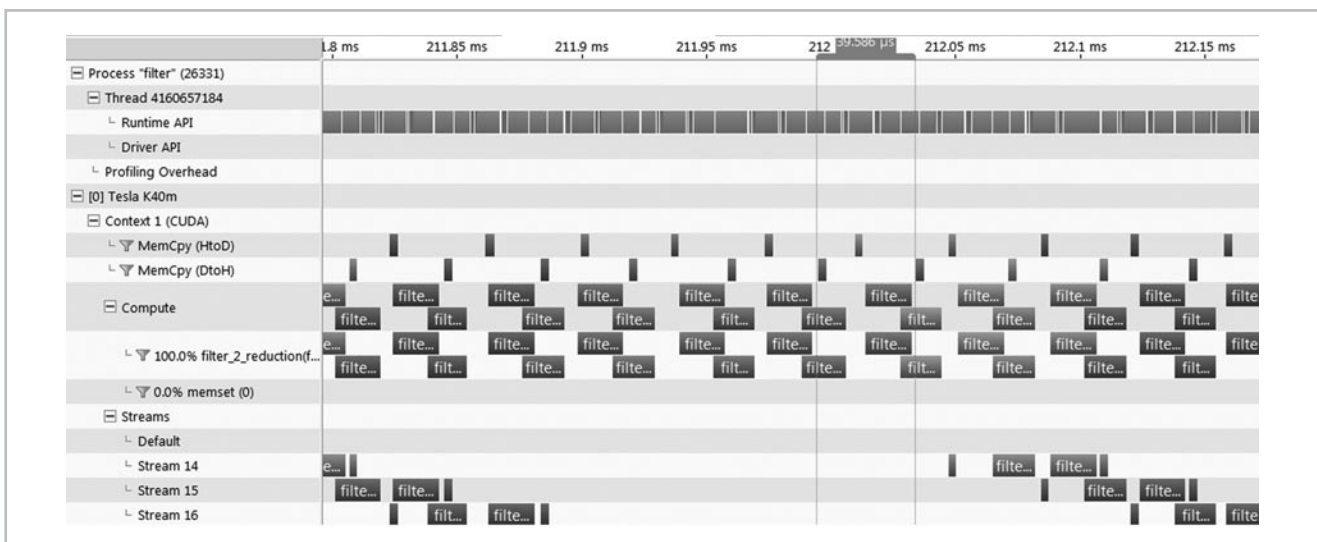
Az 5. táblázat foglalja össze az optimalizált párhuzamos GPU implementáció eredményeit. Látható, hogy a legkisebb méretű szűrőt leszámítva, valamennyi implementáció gyorsulást eredményezett. Kiegészítve ezt további feldolgozási lépések GPU végrehajtási idejével (Fourier transzformáció /1024 pont/: 180 µsec, felszíni potenciál eloszlás interpoláció: 40 µsec per minta), látható, hogy egy hosszabb feldolgozási sor is végrehajtható egy mintavételi perióduson belül, akár még 2048 Hz mintavételi frekvencia mellett is.



4. ábra GPU FIR szűrő egyszerű implementációjának futási idődiagramja.



5. ábra Optimalizált memória műveleteket alkalmazó GPU implementáció idődiagramja.



6. ábra Optimalizált párhuzamos szűrő implementáció futási idődiagramja.

Szűrő konfiguráció	Futási idő (msec)		Gyorsulás
	Szekv. C	GPU Tesla K40	
1 FIR (hossz=101)	18.343	40.672	0.45
8 FIR (hossz=101)	71.433	39.62	1.80
4 FIR (hossz=1001)	577.304	59.658	9.67
8 FIR (hossz=1001)	1151.971	208.933	5.51

5. táblázat Egy másodperc EEG adatmennyiség szűrés ideje CPU és GPU implementációival.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A párhuzamos architektúrák és programozási módszerek rendkívüli lehetőségeket nyújtanak az EEG feldolgozás és képkalkítás területén, azonban szemléletváltásra van szükség az alkalmazott algoritmusok implementálásában. Nagyfokúan párhuzamos és optimalizált implementációk szükségesek annak érdekében, hogy a közel szuperszámítógép teljesítményű grafikus kártyák lehetőségeit ki tudjuk használni. Ebben a cikkben rövid áttekintést adtunk a tanszékünkön

ezen a területen folyó munkáról és a gyors EEG feldolgozás terén elért eredményeinkről. A kidolgozott módszerek egy új EEG feldolgozó rendszer részét képezik, mely reményeink

szerint hamarosan demonstrálja ezen új módszerekben rejlő lehetőségeket.

## A SZERZŐ BEMUTATÁSA



**Dr. Juhász Zoltán** egyetemi docens a veszprémi Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek tanszékén, ahol a Párhuzamos és Elosztott Rendszerek kutatócsoport vezetője. Okleveles villamosmérnöki diplomát szerzett 1989-ben (BME), majd két évig Észak-Írországban, a The Queen's University of Belfast Computer Science tanszékén dolgozott kutatóként. 1992 óta dolgozik a Pannon

Egyetemen. 1997-ben szerzett Műszaki Informatika PhD fokozatot. Kutatási területe a párhuzamos és elosztott számítási rendszerek elmélete és fejlesztése, valamint az objektum-orientált technológiák alkalmazása ezen területeken. Az elmúlt évek alatt több tudományos kutatási pályázatot nyert, valamint többször volt vendégoktató az angliai University of Exeter Computer Science tanszékén. Jelenlegi kutatási tevékenysége a sokmagos grafikus processzorok orvosi képalkotásban történő hatékony felhasználására irányul.

## Új lehetőségek a perifériás idegrendszeri megbetegedések diagnosztikájában

*c. cikk folytatása a 28. oldalról*

Az eddigi eredményekből jól látszik, hogy valamennyi vizsgált perifériás idegrendszeri betegségnek jellegzetes ultrahangjelei vannak – ismertette Dr. Arányi Zsuzsanna. A leggyakoribb perifériás idegrendszeri betegség, a kéz éjszakai, fájdalmas zsibbadásával és ügyetlenségével járó csuklótáji alagútszindróma. Oka a csuklónál egy ideg, az ún. nervus medianus leszorítása. A munkacsoport a kórkép egy új ultrahangos diagnosztikai paraméterét, a tenyéren, az alagút elhagyása után az érintett ideg duzzanatát írta le. Egy másik alagút szindróma, a mellkaskimeneti szindróma a nyak és a mellkas közötti átjáróban, a kart ellátó idegfonat összenyomásával, a kar következményes fájdalmával, a kis kézizmok gyengeségével és sorvadásával jár. Ez legtöbbször veleszületett anatómiai rendellenességekre, számfelletti bordára, izmokra vagy szalagokra vezethető vissza. A kórkép képalkotó vizsgálata eddig nem volt lehetséges. Kutatócsoportunk elsőként írta le a mellkaskimeneti szindróma jellegzetes ultrahangjelét, az ún. ék-sarló jelet („wedge-sickle sign”), amely megmutatja az idegfonat összenyomásának műtéti úton kezelhető helyét és okát. Mindez segíthet a betegség korai felismerésében, még mielőtt olyan súlyos, nem visszafordítható tünetek jelentkeznének, mint a kézizmok sorvadása – mondta el Dr. Arányi Zsuzsanna. Szemben az alagút szindrómákkal, Parsonage-Turner szindrómában az idegek károsodását nem összenyomás, hanem gyulladás okozza. A diagnózis ezidáig csak a tüneteken alapult, de az ultrahang segítségével képalkotásra is lehetőség nyílt. Kutatócsoportunk összegezte és írta le először a kórképben található jellegzetes ultrahang eltéréseket. Ilyen az idegek duzzanata, körülírt összeszűkülése, illetve az összeszűkülés helyén az ideg megcsavarodása – magyarázta Dr. Arányi Zsuzsanna. Ezek ismerete nem csak a kórkép diagnosztikáját, de a betegek gyógyulását is nagy mértékben segíti. Ugyanis az ultrahang által felismert nagyfokú összeszűkülés vagy idegcsavarodás esetén műtét nélkül nem várható gyógyulás, és a betegek kézfunkciója véglegesen károsodott marad. Több betegünknel is látványos javulást sikerült ilyen módon elérni, ezért köszönet illeti a Magyarországon először ilyen műtétet elvégző kézsebész munkatársakat is – tette hozzá.

Dr. Arányi Zsuzsanna elmondta, hogy mivel a betegellátásban azonnal hasznosítható felismerésekről van szó, a hosszabb távú célkitűzések között szerepel, hogy az ultrahangos vizsgálati módszer országszerte bekerüljön a mindennapi neurológiai vizsgálatok közé a perifériás idegrendszeri megbetegedések jobb diagnosztikája, és ezek hatékonyabb kezelése érdekében. A módszerről és az eredményeinkről számos hazai továbbképző és tudományos rendezvényen beszámoltunk, valamint klinikánkon végezzük az érdeklődő kollégák gyakorlati képzését – tette hozzá. A pályázat év végén zárul, ugyanakkor mivel az eszköz a Neurológiai Klinikán marad, ezért – a klinikai munka részeként – a vizsgálatok és a kutatás folytatását tervezik, kiterjesztve más területekre is.

*Forrás: Semmelweis Egyetem*