(1) ELTE Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Kar Gyógypedagógiai Módszertani és Rehabilitációs Intézet Szomatopedagógiai Szakcsoport
(2) Országos Orvosi Rehabilitációs Intézet
(3) Tokyo Metropolitan University Department of Health Promotion Science Perception and Action Laboratory, Tokyo, Japan

Különbségi küszöb izometriás szorítóerő kifejtése esetén

VÁMOS TIBOR (1, 2) – BERENCSI ANDREA (1) – IMANAKA KUNIYASU (3)
tibor.vamos@barczi.elte.hu, berencsi.andrea@barczi.elte.hu, imanaka@tmu.ac.jp

Absztrakt
A humán kézfunkció egyik elengedhetetlen eleme a megfelelő erőkifejtés alkalmazása fogás során. A vizsgálat célja a különbségi küszöb megtalálása volt precíz izometriás szorító erőkifejtés esetén. Egy-egy összehasonlítási feladatblokkban a résztvevőknek két különböző (előre meghatározott) erőszintet kellett kifejteniük ugyanazzal a kezükkel, majd válaszolni arra a kérdésre, hogy melyik erőkifejtést érezték erősebbnek, az elsőt vagy a másodikat. A különbségi küszöböt a 75%-ban helyes válaszadásnál a maximális erőkifejtés (MVC) százalékában határoztuk meg. A standard inger 14% MVC mellett a különbségi küszöb 1,75–2,25% MVC volt, azaz a legkisebb érzékelhető különbség 12,5–16% közötti tartományban található izometriás szorítóerő kifejtése esetén. A vizsgálathoz olyan, korábban nem alkalmazott mérési módszert dolgoztunk ki, amely lehetővé teszi különböző erőszintek összehasonlítását egy kézzel, így korábbi módszerektől eltérően, amikor a két kézzel külön-külön végrehajtott erőkifejtéseket kellett összehasonlítani, a két felső végtagban adott esetben eltérő izom- és szenzoros állapottal rendelkező személyek (pl. hemiparetikus stroke-betegek vagy cerebrális paretikus személyek) különbségi küszöbének vizsgálata is megvalósíthatóvá válhat.

Kulcsszavak: izometriás erőkifejtés, kézi szorítóerő, diszkriminációs küszöb, finommotorika, kézfunkció, rehabilitáció

Különbségi küszöb izometriás szorítóerő kifejtése esetén

A humán kézfunkció egyik elengedhetetlen eleme a megfelelő erőkifejtés alkalmazása fogás során. Az alkalmazott erő nagyságának becslése függ a tárgy nagyságától, alakjától, felületének és textúrájának jellemzőitől. A megfelelő nagyságú szorítóerő beállításának képessége tanulási folyamat eredménye, melynek során a perceptuális (pl. a tárgy felületének tulajdonságai) és motoros információk (pl. a kifejtett erő túl kicsi volt, a tárgy kicsúszott a kezemből) közötti ok-okozati összefüggések elsajátítása történik. A másik oldalról

viszont az erő nagysága, amellyel egy tárgyat „felfedezünk", meghatározza az adott tárgy tulajdonságainak érzékelését (DEBATS et al. 2012). E tanulási folyamatnak az egyik alapja az adott helyzetben kifejtett erők megkülönböztetésének képessége. Azt a legkisebb különbséget, amely ahhoz szükséges, hogy két ingert különbözőnek észleljünk, különbségi küszöbnek nevezzük. A különbségi küszöb tulajdonképpen arra a pszichofizikai kérdésre ad választ, hogy mennyire kell két ingernek különbözni ahhoz, hogy eltérőekként detektáljuk őket (SEKULER–BLAKE 2004). Az irodalomban korábban számos tanulmány vizsgálta a súly- és erőkifejtés diszkriminációjára vonatkozó küszöböt különböző feladatok során *(1. táblázat)*.

	Feladat	**Legkisebb érzékelhető különbség**
Weber (1834)	súlyemelés	10%
Brodie & Ross (1984)	súlyemelés	9–13%
Brodie & Ross (1985)	súlyemelés	6,1%
Jones (1989)	könyökhajlítás	5–9%
Pang és mtsai (1991)	csippentés ellenállással szemben	5–10%
Allin és mtsai (2002)	jobb mutatóujj MP ízület hajlítása	10%

1. táblázat. Legkisebb érzékelhető különbség különböző erőkifejtéssel járó feladatok során a standard stimulushoz képest %-ban. Ha a legkisebb érzékelhető különbség 10%, 10 kg-hoz képest 10 ± 1 kg-ot (azaz 11 és 9 kg-ot) már eltérőnek érzékelünk. A fenti táblázatból jól látható, hogy súlyok és erők megkülönböztetése esetén a különbségi küszöb tág határok között változik és nagyban befolyásolja a végzett feladat jellege.

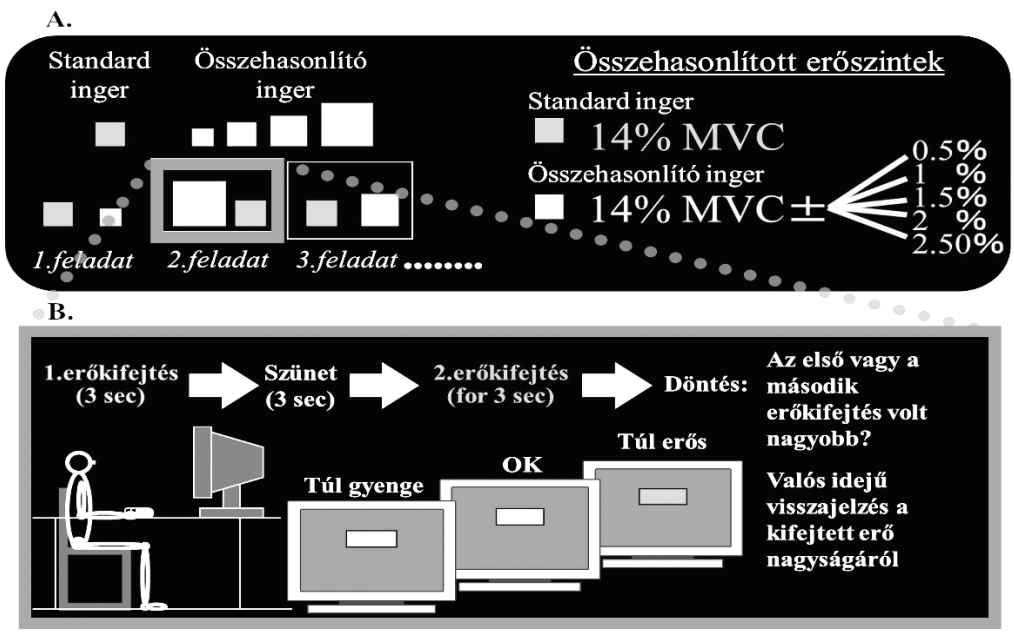
Egy tárgy megfogása és megtartása során az erőkifejtés nagyságára a proprioceptív információból, a bőr mechanoreceptoraiból érkező visszajelzésből és az érzékelt erőfeszítésből *(perceived effort)* következtetünk, mely utóbbi a mozgatókéreghez köthető, és függ a fáradás mértékétől. Megfogást követően a tárgyak megtartása során nagyon gyakran izometriás erőkifejtést alkalmazunk. Izometriás szorító erőkifejtés során az izom összehúzódását nem kíséri ízületi elmozdulás. Ebben az esetben nem kerül sor a mozdulat téri paramétereiben történő változásainak feldolgozására, továbbá a proprioceptív visszajelzés során a dinamikus változásról információt szolgáltató afferensek szerepe is feltehetően csökken. Ez felveti a kérdést, hogy az *1. táblázat*ban ismertetett ízületi elmozdulással járó mozgásokhoz képest az ízületi elmozdulással nem járó, eltérő szenzoros visszajelzéshez vezető izometriás erőkifejtés esetén a kifejtett erők megkülönböztetésének képessége eltér-e.

Erőkifejtés során a diszkriminácós küszöb meghatározására ez idáig (JONES 1989, JONES–HUNTER 1982) gyakran a két testfél közötti összevetést használták a szakirodalomban. E módszer számos előnye (pl. a két erőkifejtés egy időben történhet) mellett nem alkalmas

arra, hogy a rehabilitáció során, pl. stroke-on átesett hemiparetikus kliensek esetén a diszkriminációs küszöböt meghatározzuk. Ebben az esetben ugyanis a két felső végtag eltérő izomállapota miatt és/vagy az érintett oldalon kialakult szenzoros (érzékelési) zavar miatt a két testfél nem szolgálhat egymásnak olyan összevetési alapként, mint egészséges személyek esetén. A jelen vizsgálat során egy olyan módszer kidolgozására törekedtünk, amely egyetlen felső végtag/kéz bevonásával is képes a diszkriminációs küszöb meghatározására. Tehát a cél egyrészt a különbségi küszöb meghatározása volt izometriás erőkifejtés során, másrészt egy olyan módszer kidolgozása és tesztelése, amely a későbbiekben alkalmas a különbségi küszöb mérésére egy testfél bevonásával is, pl. hemiparetikus kliensek esetén, a rehabilitáció során.

Módszerek

Résztvevők



1. ábra. A) Konstans ingerek módszere során egy állandó nagyságú standard ingerhez minden összehasonlítási blokk során egy eltérő nagyságú összehasonlító ingert adunk véletlenszerű sorrendben. A jelen vizsgálatban a standard inger minden résztvevő esetén a saját maximális akaratlagos szorítőerő kifejtésének (MVC) a 14%-a volt. Az összehasonlító ingerek nagysága az MVC 14% ± 2,5%-án belül volt 0,5%-os lépésenként. B) Egy összehasonlítási blokk két erőkifejtésből és a köztük lévő szünetből állt. Az erőkifejtések után a résztvevőknek el kellett dönteniük, melyik erőkifejtést érezték nagyobbnak. A kifejtett erő kívánt szinten tartását a monitoron bemutatott valós idejű visszajelzés biztosította.

9 fő egyetemi hallgató (4 férfi, 5 nő), mindannyian jobbkezesek, az átlagéletkor 24,3 év volt. MVC határok: 20,3 kg – 52,3 kg. Tájékoztatás után a résztvevők mindegyike írásos beleegyezését adta a részvételhez, melyért kreditpontokat kaptak.

Apparátus

A tipikus fejlődésű egyetemi hallgatók erőkifejtéseinek mérése Takei, T.K.K. 5710 típusú izometriás szorítóerő-mérő dinamométerrel történt, mely egy National Instruments BNC 2120 típusú analóg-digitális adatgyűjtő berendezéshez volt csatlakoztatva. Az analóg-digitális adatgyűjtő berendezés egy NEC típusú notebook személyi számítógéphez (PC) volt csatlakoztatva. A PC-n Labview 6.0 programozási környezetben írt szoftver biztosította a résztvevők erőkifejtési adatainak elraktározását. A PC-hez csatlakoztatva volt egy második monitor, amely vizuális feedbecket nyújtott a résztvevők számára a kifejtett erők nagyságáról. A résztvevők az erőkifejtésükkel egyidejűleg kapták a feedbacket arról, hogy aktuálisan mekkora erőt fejtenek ki. Ez az eljárás biztosította azt, hogy a résztvevők mindvégig a vizsgálatvezető által aktuálisan kért erő nagyságát tudják kifejteni és ezáltal megtapasztalni. Három másodpercig kellett végrehajtani egy erőkifejtést. A három másodperces mérési periódus akkor kezdődött, amikor a résztvevő által kifejtett erő először érte el egy adott próbában a kívánt erőnagyságot (a célerőt), miután fokozatosan egyre nagyobb erővel kezdte szorítani a dinamométert.

Procedúra

A résztvevők egy széken ültek, jobb alkarjuk a mellettük lévő asztalon támaszkodott. Az asztalhoz rögzítve az erőmérő dinamométer úgy volt elhelyezve, hogy kényelmesen meg lehetett fogni jobb kézzel. A résztvevőkkel szemben az asztalon egy monitor helyezkedett el, amelyen a vizuális ingerek jelentek meg. Elsőként a maximális erőkifejtés mérése történt oly módon, hogy a résztvevő 4 másodpercig szorította a dinamométert a jobb kezével. Három ilyen 4 másodpercig tartó mérés után a maximális erőkifejtés értéke (MVC) a három mérés eredményének átlaga lett.

A különbségi küszöb meghatározása a konstans ingerek módszerével történt kényszerválasztásos helyzetben. A résztvevők feladata az volt, hogy egy összehasonlító feladatblokkon belül végezzenek el két erőkifejtést egymás után. Az összehasonlító feladatblokkon belül mindig egy standard és egy összehasonlító ingert kellett összehasonlítaniuk. A standard és az összehasonlító inger két különböző erőszintet jelentett, melyeket 3-3 másodpercig kellett kifejteniük. A két erőkifejtés között 3 másodperc szünet volt minden összehasonlító feladatblokkon belül. Miután a résztvevők befejezték a két erőkifejtést, el kellett dönteniük, hogy melyik erőkifejtést érezték erősebbnek, az elsőt vagy a másodikat. Válaszukat a kísérletet vezető személy rögzítette. A standard inger erőszintje a résztvevő maximális erőkifejtésének 14%-a volt minden összehasonlító feladatblokkon belül végig a kísérlet során. Az összehasonlító ingerek a maximális erőkifejtés 14%-ánál 0,5%-kal, 1%-

kal, 1,5%-kal, 2%-kal és 2,5%-kal kisebb vagy nagyobb értékű erőszintek voltak (a maximális erőkifejtés 11,5%-a, 12%-a, 12,5%-a, 13%-a, 13,5%-a, 14,5%-a, 15%-a, 15,5%-a, 16%-a és 16,5%-a).

Az összehasonlító erőszintek sorrendje véletlenszerű volt a feladatblokkokban csakúgy, mint a standard inger sorrendje egy összehasonlító blokkon belül (a résztvevő tehát nem tudhatta, hogy egy összehasonlító feladatblokkon belül melyik a standard inger, az első erőkifejtés alatt megtapasztalt erőszint, vagy a második erőkifejtés alatt megtapasztalt erőszint). A véletlenszerűségre azért volt szükség, hogy a résztvevők ne tanulhassák meg, hogy az ingerek milyen sorrendben követik egymást. Annak érdekében, hogy a résztvevők mindig a kívánt erőszintet fejtsék ki, az erőkifejtéssel egyidejűleg színek jelezték a monitoron, hogy megfelel-e az általuk aktuálisan kifejtett erő nagysága a kívánt inger (standard vagy összehasonlító inger) nagyságának. Zöld szín jelent meg a monitoron, amint a résztvevő elérte a kívánt célerő szintjét, piros szín jelent meg, ha túl erős, és szürke szín, ha túl gyenge volt az erőkifejtés a kívánt célerőhöz képest. A valós idejű visszajelzést nyújtó programot úgy állítottuk be, hogy a zöld szín akkor jelent meg, ha a résztvevő erőkifejtésének nagysága nem volt sem kisebb, sem nagyobb a célerőnél 0,25%-kal kisebb vagy nagyobb értéknél.

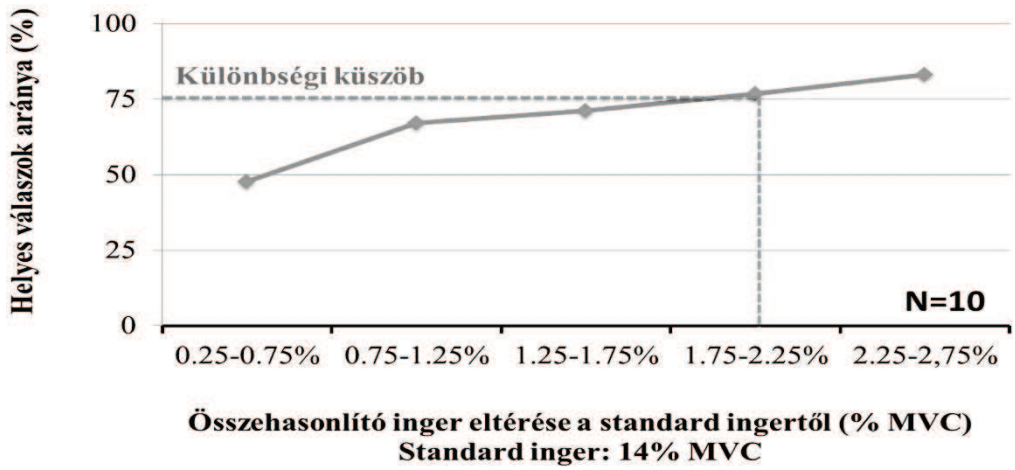
Az összehasonlító feladatblokkon belül vizuális és hangjelzés indikálta az erőkifejtés kezdetét. A résztvevő akkor kezdte meg az erőkifejtést, amikor a monitoron megjelent egy 1-es szám (ez az első erőkifejtés sorszámát jelentette) és ezzel egyidejűleg megszólalt egy hangjelzés. A jelzések után a résztvevő elkezdte az erőkifejtést, fokozatosan egyre nagyobb erővel nyomta össze a dinamométert egészen addig, ameddig a zöld szín meg nem jelent a monitoron, mutatva, hogy elérte a kívánt erőszintet. Ezután 3 másodpercig ezt az erőszintet kellett megtartania úgy, hogy közben a monitoron a zöld szín folyamatosan megmaradjon. Az erőkifejtés végét szintén hangjelzés jelezte (az elsőtől eltérő hangjelzés) és az 1-es szám eltűnése a monitorról. 3 másodperces szünet után ismét megszólalt az erőkifejtés megkezdését jelző hang, mellyel egyidejűleg megjelent a monitoron egy 2-es szám (a második erőkifejtés sorszáma). Ezután is 3 másodpercig a kívánt erőszintet kellett tartani úgy, hogy közben a monitoron a zöld szín folyamatosan megmaradjon. A második erőkifejtés befejezése után a résztvevőnek döntést kellett hoznia, hogy az első vagy a második erőkifejtést érezte-e erősebbnek.

Annak érdekében, hogy a résztvevők hozzászokjanak a procedúrához, a kísérlet előtt legalább 10 összehasonlítást végezhettek az előbb leírt módon. A kísérlet során a kifáradás elkerülése érdekében minden tizedik összehasonlító feladatblokk után pihenhettek a résztvevők, illetve ha szükségesnek tartották, akkor bármikor a kísérlet során lehetőségük volt szünetet tartani.

Eredmények és diszkusszió

A jelen vizsgálatban a résztvevők által aktívan kifejtett erőszinteket használtunk, melyeket valós idejű vizuális visszajelzés segítségével tartottunk egy adott tartományban, így az eredményeket MVC% intervallumban adjuk meg, mely a standard stimulustól való eltérést

fejezi ki. A különbségi küszöböt a 75%-ban helyes válaszadásnál MVC%-ban határoztuk meg. A standard inger 14% MVC mellett a különbségi küszöb 1,75–2,25% MVC volt *(2. ábra)*, azaz a legkisebb érzékelhető különbség 12,5–16% közötti tartományban található izometriás szorítóerő kifejtése esetén.



2. ábra. Helyes válaszok aránya a standard ingertől való eltérés függvényében

Ez az eredmény részben megfelel az irodalomban izotóniás súlyemelési feladatok és jobbbal oldali könyökízületi flexió során mért különbségi küszöbértékeknek *(1. táblázat)*. Ezekben a vizsgálatokban a legkisebb érzékelhető különbség legmagasabb értéke 10–12% volt, amely a jelen kísérletben a legkisebb érzékelhető különbségi intervallum alsó határát jelentette. A magasabb küszöbérték egyik oka lehet, hogy nem pontos értékeket, hanem a feladat jellege miatt intervallumot használtunk a küszöb meghatározásához. A pontosabb küszöbérték az intervallumon belül található. Egy másik lehetséges ok az izometriás és izotóniás erőkifejtés különbségéből adódhat. Statikus és dinamikus feladatok esetén eltérést találunk mind a motoros egységek időzítésében és aktivációjában, mind az agykérgi szabályozásban (Neely et al. 2013), és a mozgásról kapott visszajelzésben is. Az irodalmi áttekintésben felsorolt feladatok – azon túl, hogy elmozdulással jártak – egy kivétellel nagymozgásokat használtak az összehasonlítás során, ami szintén egy lehetséges okot szolgáltathat az érzékelt különbségekre (Jones 2003). Mivel alacsony tartományban a kifejtett erő nagyságát általában túlbecsüljük, és az erőkifejtés során a legkisebb érzékelhető különbség a standard inger függvényében (pl. növekedésével) eltérhet (Jones 2003), a továbbiakban nagyobb erőkifejtéssel járó standard stimulus alkalmazása is szükséges lehet a diszkriminációs küszöb más erőtartományokban történő meghatározásához izometriás erőkifejtés esetén.

A vizsgálat során alkalmazott módszer alkalmasnak bizonyult a konstans ingerek módszerével történő különbségi küszöb meghatározására. További használata indokolt lehet egyrészt tipikus fejlődés esetén, mert kiküszöböli a domináns és nem domináns kéz moz-

gásszabályozása és MVC-je közötti különbséget (NOGUCHI et al. 2009). Továbbá lehetővé teszi azon mozgáskorlátozott személyek vizsgálatát, akiknél a két testfél motoros és/vagy szenzoros eltérései miatt a két testfél közötti összevetés nem lehetséges, pl. cerebrális parézis vagy stroke következtében kialakuló hemiparézis esetén. A különbségi küszöb változásának monitorozása a rehabilitációs folyamatban fontos szerepet játszhat, mert a standard klinikai vizsgálat során előfordulhat, hogy alulbecsüljük a szenzoros deficiteket, melyek hozzájárulnak a mozgásszabályozási nehézségekhez pl. cerebrális parézis és stroke esetén (BLEYENHEUFT–GORDON 2013; BLENNERHASSETT et al. 2007).

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Japán Állami Ösztöndíj program – Monbukagakusho Scholarship Graduate Degree Program támogatta.

Irodalom

ALLIN, S. et al. (2002): Measuring Just Noticeable Differences For Haptic Force Feedback: Implications for Rehabilitation. *10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. HAPTICS 2002. Proceedings., Orlando, FL, IEEE.

BLENNERHASSETT, J. M. et al. (2007): Impaired discrimination of surface friction contributes to pinchgrip deficit after stroke. *Neurorehabil Neural Repair, 21*(3), 263–272.

BLEYENHEUFT, Y. – GORDON, A. M. (2013): Precision grip control, sensory impairments and their interactions in children with hemiplegic cerebral palsy: a systematic review. *Research in Developmental Disabilities, 34*(9), 3014–3028.

BRODIE, E. E. –ROSS, H. E. (1984): Sensorimotor mechanisms in weight discrimination. *Perception & Psychophysics, 36*(5), 477–481.

BRODIE, E. E. – ROSS, H. E. (1985): Jiggling a lifted weight does aid discrimination. *American Journal of Psychology, 98*(3), 469–471.

DEBATS, N. B. et al. (2012): Moving the weber fraction: the perceptual precision for moment of inertia increases with exploration force. *PloS One, 7*(9), e42941.

JONES, L. A. – HUNTER, I. W. (1982): Force sensation in isometric contractions: a relative force effect. *Brain Research, 244*(1), 186–189.

JONES, L. A. (1989): Matching forces: Constant errors and differential thresholds. *Perception, 18*(5), 681–687.

JONES, L. A. (2003): Perceptual constancy and the perceived magnitude of muscle forces. *Experimental Brain Research, 151*(2), 197–203.

NEELY, K. A. et al. (2013): Segregated and overlapping neural circuits exist for the production of static and dynamic precision grip force. *Human Brain Mapping, 34*(3), 698–712.

NOGUCHI, T. et al. (2009): Superiority of the dominant and nondominant hands in static strength and controlled force exertion. *Perceptual and Motor Skills, 109*(2), 339–346.

PANG, X. – TAN, H. Z. – DURLACH, N. (1991): Manual discrimination of force using active fingermotion. *Perception & Psychophysics, 49*(6), 531–540.

ROSS, H. E. – MURRAY, D. J. – WEBER, E. H. (1978): *The sense of touch*. Academic Press, New York.

SEKULER, R. – BLAKE, R. (2004): *Észlelés*. Osiris, Budapest.