

AZ INGEREK ÉS MOTOROS JELLEMZŐK
SZEREPE A CSELEKVÉSEK
REPREZENTÁLÁSÁBAN ÉS OPTIMIZÁLÁSÁBAN

PhD Tézisfüzet



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Varga Sámuel

Kognitív Tudományi Tanszék

Természettudományi Kar

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Doktori témavezető: Horváth János, PhD DSc

Budapest, 2024

Bevezető és célkitűzések

Folyamatos kölcsönhatásban vagyunk modern környezetünkkel. Például gombokat nyomunk, amikor konyhai készülékeket kezelünk, és az egérrel kattintunk, amikor a számítógépen tevékenykedünk. Ezek az alapvető interakciók nagymértékben függenek cselekedeteink szenzoros következményeitől. A szenzoros hatások nemcsak a tanulásban játszanak szerepet (Wolpert és mtsai., 2011), hanem bizonyos elképzelések szerint a motoros rendszerünkhöz való hozzáférést is lehetővé teszik. Ez az utóbbi felvetés már a 19. század közepén megjelent az ideomotoros elmélet gondolataként (Herbart, 1816; Lotze, 1852; Harless, 1861; James, 1890). Az volt az elmélet alapvető felvetése, hogy cselekedeteink és azok szenzoros következményei összekapcsolódnak, a következő, látszólag radikális állításhoz vezetve: a szenzoros következmények elképzelése, ezek anticipálása révén vagyunk képesek cselekvéseket létrehozni (innen ered az ideo-motor kifejezés). A modern elméletek és megközelítések, amelyek az ideomotoros elven alapulnak, mint például az eseménykódolás elmélete (Theory of Event Coding, TEC; Hommel és mtsai., 2001; Hommel, 2019) és az összekapcsolás és előhívás a cselekvésvezérlésben (Binding and Retrieval in Action Control, BRAC; Frings és mtsai., 2020) két folyamat meglétét feltételezik: a vonások összekapcsolását és előhívását. Ahogy maga a kifejezés is sugallja, a jellemzők összekapcsolása azt jelenti, hogy az ingerek, az ezekre adott válaszok és az őket követő hatások jellemzői közös reprezentációkba, úgynevezett eseményfajokba kapcsolódnak össze. Ennek a fordítottja a vonás-előhívás, amely azt feltételezi, hogy bármely jellemző előhívása (legyen az ingerrel-, válasszal- vagy hatással-kapcsolatos) magával vonja az összes többi társított jellemzőt, és ezek befolyásolhatják a teljesítményt.

A szenzoros következmények egy másik szerepe a hatásfüggő motoros adaptációban figyelhető meg (Neszmélyi és Horváth, 2017, 2018, 2019; Horváth és mtsai., 2018). Ez a kifejezés egy olyan folyamatot jelöl, amelyben a kognitív rendszer a véletlenszerűen bekövetkező cselekvéshatásokat nem hagyja figyelmen kívül, hanem felhasználja őket a cselekvések optimalizálásában. Olyan feladatokban, amelyekben a cselekvések hanghatásokat váltanak ki, a résztvevők a cselekvéseket kevesebb erővel hajtják végre, mint egy olyan helyzetben, amelyben nincsenek ilyen jól megfigyelhető cselekvéskövetkezmények. A jelenséghez az is társul, hogy egy hanghatásokat kiváltó cselekvéssorozat blokkjában a kifejtett erő folyamatosan csökken, vélhetően addig, amíg el nem ér egy optimálisnak vélt szintet.

Ezek a jelenségek, az összekapcsolás/előhívás és a hatásfüggő motoros adaptáció képezik a dolgozat fő témáját. Az előbbivel kezdve, az összekapcsolási és előhívási hatásokról szóló kutatások rendszerint olyan feladatokat alkalmaznak, amelyekben több mint egy, kategorikus cselekvésopció áll rendelkezésre (például bal/jobbs kézzel történő billentyűzetlenyomások). Továbbá a vizsgált jellemzők általában relevánsak a feladat szempontjából (pl. a résztvevőknek hasonló eloszlású/számú bal- és jobbkezes cselekvéseket kell véghez vinniük). Ezért kutatásainkban azt vizsgáltuk, hogy a mozdulatok tényleges jellemzői (a feladat szempontjából irreleváns és folytonos cselekvéstulajdonságok), mint például az erő és az időtartam, szintén tükrözik-e az összekapcsolási és előhívási folyamatok meglétét.

A hatásfüggő motoros adaptáció témájára térve, kutatásunkban a cselekvéshatások kiszámíthatóságának kérdését vizsgáltuk. Mivel a korábbi kutatásokban olyan blokkosított elrendezést használtak, amelyben a cselekvések vagy mindig, vagy soha nem váltottak ki hanghatásokat, ezért megválaszolatlan kérdés maradt, hogy a motoros adaptáció létrejöhet-e

akkor is, ha a cselekvéshatások jelenléte kiszámíthatatlan. Mivel a motoros adaptációra többnyire automatikus folyamatként tekintünk, azt feltételeztük, hogy az effektusnak akkor is létre kell jönnie, ha a cselekvés várható következménye bejósolhatatlan.

Tézispontok

1. Tézispont: A cselekvések folytonos, feladatfüggetlen tulajdonságai kapcsolódhatnak és előhívhatók lehetnek az auditoros cselekvéshatások által

A vonáskapcsolódást és előhívást vizsgáló kutatások rendszerint cselekvéseket társítanak szenzoros hatásokkal egy elsődleges próbán, majd a viselkedésbeli változásokat egy másodlagos próbán figyelik meg, ahol a korábban prezentált inger vagy ismétlődik, vagy változik (pl. Dutzi & Hommel, 2009; Herwig & Waszak, 2012; Janczyk et al., 2012). Egy szabad-választásos feladatban a résztvevőknek általában két válaszlehetőségük van (például egy bal- vagy jobbkezes billentyűlenyomás), és az effektus abban a tendenciában mutatkozhat meg, hogy a résztvevők hajlamosabbak lesznek megismételni korábbi cselekvésüket akkor, amikor az elsődleges próbán prezentált inger a másodlagos próbán megismétlődik. Ehhez képest, egy kényszerített választásos elrendezésben a viselkedésbeli változásokat a válaszidők különbségeiben lehet megfigyelni (Moeller et al., 2016, 2019).

De mi a helyzet a tényleges mozgásjellemzők előhívásával? Még egy egyszerű cselekvés is számos mutatóval és feladatfüggetlen tulajdonsággal jellemezhető, és ezek feltehetően összekapcsolódhatnak és előhívhatók lehetnek a szenzoros hatások által. Ráadásul a korábban

említett döntési kategóriákkal ellentétben, ezek a tulajdonságok akkor is jelen vannak és akkor is vizsgálhatók, amikor csak egy válaszlehetőség áll rendelkezésre.

Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásához egy módosított cselekvés-hatás összekapcsolódási paradigmát dolgoztunk ki, amelyben a résztvevők egyetlen válaszlehetősége egy erőérzékeny eszköz csíppentése volt. Két különálló kísérletben, a cselekvések az elsődleges próbán vagy egy magas-, vagy egy alacsony hangmagasságú hangokat váltottak ki, amelyek vagy megismétlődtek (kongruens próbák) vagy változtak (inkongruens próbák) a másodlagos próbán. A másodlagos próbán a hangok egy jelzőinger szerepét töltötték be, ezek elhangzása egy gyors válaszreakciót igényelt. A mért változók közé tartozott a cselekvés erőssége, időtartama és a másodlagos próbán mért reakcióidő. Azt feltételeztük, hogy a cselekvések hasonlóbbak lesznek (az elsődleges és a másodlagos próbák között), és a reakcióidők rövidebbek lesznek a másodlagos próbán a kongruens próbák esetében, mint az inkongruens próbák esetében.

Mutatóink egy része, különösképp a cselekvések időtartama és a reakcióidők, az összekapcsolás és előhívás jeleit mutatták (főleg a korrelációs összehasonlítások). Más mutatók, mint például az erő csúcsa és az impulzus, bár ugyanabba az irányba tendáltak, nem jeleztek szignifikáns különbségeket. Az eredmények értelmezésénél azt feltételeztük, hogy a mutatók közötti különbség részben az hozzáférhetőségnek tulajdonítható, ugyanis a cselekvés időtartama vélhetően könnyebben megfigyelhető és talán másként súlyozott, mint a cselekvés erőssége. Az is lehetséges, hogy a feladatfüggetlen cselekvésjellemzők nem részesülnek ugyanolyan mértékű előhívásban, mint a feladat szempontjából releváns jellemzők. A feladatrelevancia kérdéséhez visszatérek a 3. tézispontban.

A tézisponthoz kapcsolódó kutatás: 1. Kutatás

Varga, S., Pfister, R., Neszemlyi, B., Kunde, W., & Horváth, J. (2022). Binding of Task-Irrelevant

Action Features and Auditory Action Effects. *Journal of Cognition*, 5(1), 35.

<https://doi.org/10.5334/joc.225>

2. Tézispont: A vonásösszekapcsolásnak- és előhívásnak tulajdonított eredmények nem magyarázhatók a változásészlelés különbségeivel

Az összekapcsolást vizsgáló kutatások az elsődleges-másodlagos próbákra alapuló paradigmák eredményeit értelemszerűen az összekapcsolás és az előhívás tükrében értelmezik. Azonban lehetnek olyan rejtett tényezők, amelyek torzíthatják ezeket az értelmezéseket. A két válaszlehetőséget használó kutatások esetében egy ilyen potenciális tényező lehet a stratégia alapú cselekvés. Egyszerűen fogalmazva, egy inger változása azt jelezheti a résztvevőknek, hogy változtassák meg válaszukat, és fordítva, az inger ismétlődése válaszisméltési jelzésként értelmezhető. A jelzés-stratégiának a meglétére utaló bizonyítékok azt mutatják, hogy az összekapcsolás és a stratégia egyaránt hozzájárulhatnak egy olyan mintázat létrejöttéhez, amelyet általában az összekapcsolással és előhívással magyaráznak (Weissman és mtsai., 2023). Azonban nem ez az egyetlen lehetséges problémás tényező. Amikor egy inger megisméltődik, szenzoros feldolgozása csökkenhet (Näätänen és Picton, 1987). Ez azt jelentheti, hogy a kognitív rendszer a kongruens és inkongruens próbák ingereit eltérő módon dolgozhatja fel. Ha az inger változása fokozottabb feldolgozásban részesül, ez feltehetően az éberségben vagy a figyelemben megmutatkozó különbségekhez vezethet. Ha egy ilyen hatás valóban jelen lenne, akkor ez egy alternatív magyarázatot nyújtana, amely szerint a válaszidők különbségei (lásd 1. kutatásunk

eredményeit) nem az összekapcsolásnak és előhívásnak tudhatók be, hanem a változás észlelésében és feldolgozásában megjelenő különbségeket tükrözik. Ez különösen problémás lenne egy olyan feladatban, amelyben egyetlen cselekvés-lehetőség adott (pl. a mi kísérleteinkben).

A változás észlelésén alapuló alternatív magyarázat tesztelése érdekében megismételtük az 1. kutatásunk 1. kísérletét egy olyan kontroll feltétellel kiegészítve, amelyben a résztvevőknek egy ismétlődő vagy változó hangpár második hangjára kellett reagálniuk. Hipotézisünk szerint, ha a jelenségre az összekapcsolás és előhívás nyújtja a jobb magyarázatot, akkor egy olyan interakcióra számíthatunk a kísérleti feltétel és a kongruencia között, amelyben a reakcióidők különbsége megjelenik a kísérleti feltételben, de a kontroll feltételben nem.

A reakcióidők összehasonlítása az összekapcsolásra és előhívásra alapuló magyarázatot támasztotta alá. A reakcióidők hosszabbak voltak az inkongruens próbákon, mint a kongruens próbákon a kísérleti feltételben, de a kontroll feltételben nem. Ez arra utal, hogy a változás észlelésének különbsége nem elegendő ahhoz, hogy előállítsa azokat az eredményeket, amelyeket az összekapcsolásnak és előhívásnak tulajdonítunk.

A tézisponthoz kapcsolódó kutatás: 2. Kutatás

Varga, S., Pfister, R., Neszemlyi, B., Kunde, W., & Horváth, J. (2024). Task-relevance and change detection in action-effect binding. *Acta Psychologica*, 243:104147.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104147>

3. Tézispont: A feladatrelevancia befolyásolhatja a cselekvések folytonos jellegzetességeinek összekapcsolását és előhívását, feltehetően a relevancia által indukált variancián keresztül

Az 1. kutatásunkban és a 2. kutatásunk 1. kísérletében bemutatott erő- és időtartam-összehasonlítások nem nyújtottak egyértelmű eredményeket. Néhány feladattól független, folyamatos cselekvéstulajdonság (leginkább a cselekvés időtartama) úgy tűnt, hogy kapcsolódik és előhívható az auditív ingerek által egyes kísérletekben, de másokban nem. Ami az erőt illeti, a cselekvések hasonlóbba voltak a kongruens próbákban, mint az inkongruens próbák esetében, de ez a különbség nem volt szignifikáns. Mi magyarázhatja a hatás inkonzisztenciáját az említett motoros jellemzők esetében? Az 1. kutatásunkban azt állítottuk, hogy a feladat-relevancia lehet a kulcsfontosságú tényező. Feltehető, hogy a feladat szempontjából irreleváns tulajdonságok nem részesülnek ugyanolyan a mértékű előhívásban, mint a feladatreleváns cselekvésjellemzők. Egy másik, ehhez kapcsolódó magyarázat az lehet, hogy a kísérlet során a résztvevők vélhetően egy olyan erőszintet próbálnak fenntartani, amely kényelmes számukra. Emiatt keveset változtatnának az egymást követő cselekvéseiken, azt eredményezve, hogy a cselekvések változékonysága túl alacsony lesz.

Annak érdekében, hogy ezeket a problémákat orvosoljuk, egy módosított kísérleti paradigmát használva, arra kértük a résztvevőket, hogy spontán módon indítsanak gyenge és erőteljes cselekvéseket egy elsődleges próbán, miközben törekedjenek arra, hogy a kísérlet során a gyenge és erőteljes cselekvések eloszlása nagyjából azonos legyen. A második cselekvés továbbra is egy hangra adott gyors reakció volt (mint a korábbi kísérletekben), amelynek ereje irreleváns és

szabadon választott volt. Ez az egyszerű utasításváltoztatás feladatrelevánssá tette az erőt az elsődleges próbán (de fontos, hogy a másodlagos próbán nem), és növelte annak változékonyságát.

Eredményeink azt mutatták, hogy az elsődleges és másodlagos próbák cselekvései hasonlók voltak mind az erő, mind az időtartam tekintetében a kongruens próbákon, mint az inkongruens próbákon, ami arra utal, hogy a folyamatos cselekvésjellemzők összekapcsolódnak és előhívásra kerülnek az auditív ingerek által.

Az utasítás sikeres manipulálása azt sugallhatja, hogy a feladatrelevancia a kulcsfontosságú tényező, amely az erő- és időtartam-kongruencia hatását eredményezi. Bár lehet, hogy ez valóban így van, vannak érvek, amelyek alapján előnyben részesíthetjük a megnövekedett variancia alapú magyarázatot. Míg a két folyamat közül az összekapcsolást tekintik a kevésbé szelektív és automatikus folyamatnak (Kiesel és mtsai., 2023), addig az előhívás esetében a figyelem és más top-down tényezők fontos szerepet játszhatnak abban, hogy mi is kerül előhívásra (Moeller és Frings, 2014). Kísérletünkben a cselekvés ereje továbbra is irreleváns maradt a másodlagos próbán, ami azt sejteti, hogy a kapott eredmény a megnövekedett változékonyságnak tulajdonítható.

A tézisponthoz kapcsolódó kutatás: 2. Kutatás

Varga, S., Pfister, R., Neszemlyi, B., Kunde, W., & Horváth, J. (2024). Task-relevance and change detection in action-effect binding. *Acta Psychologica*, 243:104147.

<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104147>

4. Tézispont: A kiszámíthatatlan szenzoros cselekvéshatásokat felhasználjuk a folyamatban lévő és közelgő cselekvéseink optimalizálására

A szakirodalom, amelyet az eseményfüggő motoros adaptáció témájában prezentáltam, azt bizonyítja, hogy az egyszerű, ismétlődő cselekvések, mint például a csippentések, koppintások és gombnyomások, kisebb erővel hajtódnak végre, ha könnyen észlelhető és előrejelezhető szenzoros hatásokat váltanak ki. Ez egy olyan adaptációs jelenséget tükröz, amelyben a cselekvők addig csökkentik a kifejtett erőt, amíg el nem érik az optimális szintet, valószínűleg egyensúlyt teremtve az erőfeszítés (energiamegtakarítás) és a cselekvés-sikeresség magas valószínűségének fenntartása között. A korábbi kísérletek blokkosított elrendezése miatt a cselekvés-hatás kapcsolat minden kísérletben előrejelezhető volt. Továbbá, bár az egyik kutatásban a cselekvések által kiváltott hangok további, külsőleg generált hangokkal keveredtek (Neszmélyi és Horváth, 2019), a cselekvés és a hatás közötti fizikai kapcsolat érintetlen maradt.

Ez megválaszolatlanul hagyja azt a kérdést, hogy vajon hogyan alakul ki és változik próbáról próbára az eseményfüggő motoros adaptáció akkor, amikor a cselekvés és a hatás közötti kapcsolat kiszámíthatatlan. Ahhoz, hogy ezt megválaszoljuk, arra kértük kísérletünk résztvevőit, hogy egyenletes, 3 másodperces követési idővel hajtsanak végre csippentéseket. Ezeknek a cselekvéseknek a fele hangkövetkezményt eredményezett. A hangkeltő és hangtalan próbák sorrendje véletlenszerű volt. Elemzéseinkhez olyan négy cselekvésből álló szekvenciákat gyűjtöttünk össze, amelyek különböző hangkeltési mintázatokkal rendelkeztek. Ezeknek a szekvenciáknak az utolsó elemét hasonlítottuk össze. Azt találtuk, hogy azok a cselekvések,

amelyeket hangkeltő cselekvések előztek meg, gyengébbek voltak, mint a hangtalan cselekvések által megelőzött csipentések. Érdekes módon, a kísérlet előtti feltételezéseinkkel ellentétben, a folyamatban levő cselekvések is az erő-módosítás jeleit tükrözték, azt sugallva, hogy a résztvevők az adott hangra reagálva is mérsékeltek erő kifejtésüket. A jelenség azt sejteti, hogy a csipentések nem teljesen ballisztikus mozdulatok.

Az eredetileg megcélzott adaptációs jelenség hangra adott reakciók nélküli tanulmányozásához új cselekvést választottunk. Megismételtük az előző kísérletet, de ezúttal az erőérzékeny eszközt egy asztal felületére ragasztottuk, és a csipentések helyett koppintások sorozatát vizsgáltuk. Mivel a koppintásnak két jól megkülönböztethető erőcsúcsa van, és általában rövidebb, mint a csipentés, arra számítottunk, hogy ez a változtatás lehetővé teszi a csipentéseknél észlelt reakciós jelenség elkerülését. Elképzeléseinknek megfelelően a módosítás megszüntette a reakciókhoz köthető erőmódosítások jelenlétét, miközben fenntartotta a hosszabb távú motoros adaptáció hatását. Ahogy az 1. kísérletben is láttuk, a hangkeltő cselekvéseket megelőző koppintások gyengébbek voltak, mint a csendes cselekvéseket megelőző koppintások. A két kísérlet azt mutatja, hogy az eseményfüggő motoros adaptáció akkor is kialakulhat, ha a hanghatás kiszámíthatatlan, és bizonyos hosszabb cselekvések esetében, mint például a csipentések, az erőmódosítások az aktuális cselekvésvégzés közben is megjelenhetnek.

A tézisponthoz kapcsolódó kutatás: 3. Kutatás

Varga, S., Neszmélyi, B., Hajdú, N., & Horváth, J. (2022). The emergence of action-effect-related

motor adaptation amidst outcome unpredictability. *Journal of Experimental Psychology:*

Human Perception and Performance, 48(7), 711–723.

<https://doi.org/10.1037/xhp0001021>

Diszkusszió és összegzés

Korábban azt állítottam, hogy az összekapcsolást és előhívást bemutató kutatások meggyőző képet festenek a szenzoros cselekvéshatások fontosságáról. Azonban ezek a kutatások hajlamosak a döntési kategóriákra összpontosítani–vagy másképpen fogalmazva: a cselekvésválasztásra–, megválaszolatlanul hagyva a végrehajtás kérdését. Első kutatásunkban ezt a kérdést explicit módon is feltettük: Mi kapcsolódik a cselekvés-hatás összekapcsolásokban? Míg egy balkezes cselekvés “balossága” bizonyítottan tárgya lehet egy ilyen folyamatnak, mi a helyzet a mozgások jellemzőivel?

A korábbi összekapcsolási/előhívási kutatások másik közös vonása az, hogy a legtöbb paradigmában két cselekvéslehetőséget vizsgálnak (pl. választás a bal vagy jobb, fel vagy le stb. között). Ám az összekapcsolásnak és előhívásnak jelen kell lennie akkor is, amikor csak egy válaszlehetőség áll rendelkezésre. Első kutatásunk eredményei arra utaltak, hogy a cselekvések folytonos tulajdonságai, mint például az erő és az időtartam, összekapcsolódhatnak- és előhívhatók lehetnek a szenzoros ingerek által, de az eredmények nem voltak végérvényűek. Azt gyanítottuk, hogy a feladat relevanciája és/vagy variabilitása kulcsfontosságú tényezők lehetnek, amelyek eldöntik, hogy egy cselekvésjellemző előhívható-e vagy sem. A második kutatásunkban meggyőzőbb bizonyítékot találtunk mind az erő, mind pedig az időtartam összekapcsolására/előhívására. Mivel ebben a paradigmában nehéz szétválasztani a feladatrelevanciát és a variabilitást, a relevancia fontossága egyelőre nyitott kérdés marad. Ennek ellenére, eredményink azt mutatják, hogy a cselekvések folytonos tulajdonságai tükrözhetik az összekapcsolás és előhívás jelenlétét, “igenneel” válaszolva a korábban feltett kérdésre: a tényleges mozgások ezeknek a folyamatoknak a tárgyát képezhetik.

Azt is demonstráltuk, hogy egy olyan paradigmában, amelyben egyetlen cselekvéslehetőség áll rendelkezésre, a megfigyelt hatásokat nem lehet a változás észlelésében megjelenő különbségeknek tulajdonítani. Még akkor is, ha a változó ingerek fokozott feldolgozásban részesülnek, ezáltal figyelemben vagy éberségben megjelenő különbségeket eredményezve, ez nem elegendő az összekapcsolásnak és az előhívásnak tulajdonított reakcióidő-különbségek létrejöttéhez.

A dolgozat másik témájára térve, a motoros adaptációt vizsgáló kutatásunkban a kiszámíthatatlan cselekvéshatások következtében fellépő optimalizáció kialakulását tanulmányoztuk. A viszonylag nagy számú próba lehetővé tette, hogy a cselekvések különböző “múlttal”, azaz korábbi hangkeltő és csendes cselekvések kombinációjával rendelkezzenek (pl. öt egymást követő hangkeltő cselekvés sorozatával). A különböző cselekvéssorozatok utolsó elemének összehasonlításával bizonyítékot találtunk a motoros adaptációra úgy a csipentések, mind a koppintások esetében. Az eredmények arra utaltak, hogy a motoros adaptáció feltehetően egy automatikus folyamat, amely akár már néhány hangkeltő cselekvés után is felléphet. Első adaptációval kapcsolatos kísérletünk egy váratlan eredményt is hozott. A hangkeltő és a csendes csipentések közvetlen összehasonlítása (figyelmen kívül hagyva a “múltukat”) azt mutatta, hogy az előbbieket jelentősen alacsonyabb erővel rendelkeztek. Ez az eredmény azt jelentette, hogy az általánosan elfogadott vélekedéssel ellentétben, néhány gyors cselekvés esetében, mint például a csipentéseknél, az erőmoduláció a cselekvés végrehajtása közben is megjelenhet.

Bár úgy gondolom, hogy ezek az eredmények fontos magyarázatokkal szolgálnak, sok megválaszolatlan kérdés marad. A számomra legégetőbb, ehhez a dolgozathoz szorosan kapcsolódó kérdés a következő: mi a kapcsolat a cselekvés-hatás összekapcsolódás és az

eseményfüggő motoros adaptáció között? Talán a motoros adaptáció az ingerek és a motoros jellemzők összekapcsolására épül? Egyáltalán tudatában vannak-e a résztvevők a cselekvésük végrehajtásában bekövetkező változásoknak?

Egy kapcsolódó téma az oksági kapcsolat kérdésköre. Szükséges-e az ok-okozati kapcsolat a motoros adaptáció létrejöttéhez? A számítógép által generált hangok és a saját cselekvéseink által kiváltott hangok együttes jelentléte csökkenti az optimalizáció hatékonyságát (Neszmélyi és Horváth, 2019), de ez azt jelenti-e, hogy az oksági kapcsolat előfeltétele a motoros adaptáció létrejöttének, vagy az erőváltoztatások megjelenéséhez elég, ha a hatás csupán követi a cselekvést?

Végül felmerül a „mindennapi használat” oly gyakran feltett kérdése. Ha mind az összekapcsolódás/előhívás, mind pedig a motoros adaptáció befolyásolhatja az erő kifejtést, akkor ezt felhasználhatjuk-e szándékosan a mindennapi eszközeinkkel és környezetünkkel való interakcióinkban? Ezeket a szavakat egy képernyőt nézve, billentyűzeten pötyögve írom, így természetesen eszembe jutnak a különböző, széles körben használt eszközök tervezése és finomhangolása (pl. a perifériás eszközök, érintőképernyők, billentyűzetek és egerek). Ezek mellett a motoros jelenségek kutatásának nyilvánvalóan a sportban és a rehabilitációban is lehetnek különböző felhasználási lehetőségei. Az előbbire példa a szonifikáció jelensége, amelyben a hangok és mozgássorozatok párosítása növelheti a teljesítményt vagy a tanulás mértékét (pl. Sigrist és mtsai, 2013; Dyer és mtsai, 2017). A szonifikációhoz hasonlóan, az eseményfüggő motoros adaptációnak is lehetnek ilyen jellegű pozitív felhasználásai. Bár számos megválaszolatlan kérdés marad, remélem, hogy eredményeink segítenek nyomatékossítani a szenzoros cselekvéshatások gyakran elhanyagolt szerepét, és olyan alkalmazott felhasználásokat

inspirálhatnak, amelyek kihasználhatják az cselekvések és a szenzoros hatások közötti szoros kapcsolatot.

Bibliográfia

- Dutzi, I. B., & Hommel, B. (2009). The microgenesis of action-effect binding. *Psychological Research Psychologische Forschung*, 73(3), 425–435. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0161-7>
- Frings, C., Hommel, B., Koch, I., Rothermund, K., Dignath, D., Giesen, C., Kiesel, A., Kunde, W., Mayr, S., Moeller, B., Möller, M., Pfister, R., & Philipp, A. (2020). Binding and Retrieval in Action Control (BRAC). *Trends in Cognitive Sciences*, 24(5), 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.02.004>
- Harless, E. (1861). Der Apparat des Willens [The apparatus of the will]. In I. H. Fichte, H. Ulrici & I. U. Wirth (Eds.), *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik [Magazine for philosophy and philosophical criticism]*, 38, 50 –73. Halle, Germany: Pfeffer.
- Herbart, J. F. (1816). *Lehrbuch zur Psychologie [Textbook for psychology]*. Königsberg, Germany: Unzer.
- Herwig, A., & Waszak, F. (2012). Action-Effect Bindings and Ideomotor Learning in Intention- and Stimulus-Based Actions. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00444>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849–878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Hommel, B. (2019). Theory of Event Coding (TEC) V2.0: Representing and controlling perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(7), 2139–2154. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01779-4>

- Horváth, J., Bíró, B., & Neszmélyi, B. (2018). Action-effect related motor adaptation in interactions with everyday devices. *Scientific Reports*, 8(1), 6592. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25161-w>
- James, W. (1890). *The principles of psychology (Vol. 2)*. New York: Dover Publications.
- Janczyk, M., Heinemann, A., & Pfister, R. (2012). Instant Attraction: Immediate Action-Effect Bindings Occur for Both, Stimulus- and Goal-Driven Actions. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00446>
- Kiesel, A., Fournier, L. R., Giesen, C. G., Mayr, S., & Frings, C. (2023). Core Mechanisms in Action Control: Binding and Retrieval. *Journal of Cognition*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.5334/joc.253>
- Lotze, R. H. (1852). *Medizinische Psychologie oder Physiologie der Seele* [Medical psychology or physiology of the soul]. Leipzig, Germany: Weidmannsche Buchhandlung.
- Moeller, B., & Frings, C. (2014). Attention meets binding: Only attended distractors are used for the retrieval of event files. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76, 959–978. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0648-9>
- Moeller, B., Pfister, R., Kunde, W., & Frings, C. (2016). A common mechanism behind distractor-response and response-effect binding? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78, 1074–1086. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1063-1>
- Moeller, B., Pfister, R., Kunde, W., & Frings, C. (2019). Selective binding of stimulus, response, and effect features. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26(5), 1627–1632. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01646-1>
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4), 375–425. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x>

- Neszmélyi, B., & Horváth, J. (2017). Consequences matter: Self-induced tones are used as feedback to optimize tone-eliciting actions: Self-induced tones used as feedback for actions. *Psychophysiology*, *54*(6), 904–915. <https://doi.org/10.1111/psyp.12845>
- Neszmélyi, B., & Horváth, J. (2018). Temporal constraints in the use of auditory action effects for motor optimization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(11), 1815–1829. <https://doi.org/10.1037/xhp0000571>
- Neszmélyi, B., & Horváth, J. (2019). The role of auditory context in action-effect-related motor adaptation. *Human Movement Science*, *67*, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102503>
- Varga, S., Neszmélyi, B., Hajdú, N., & Horváth, J. (2022). The emergence of action-effect-related motor adaptation amidst outcome unpredictability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *48*(7), 711–723. <https://doi.org/10.1037/xhp0001021>
- Varga, S., Pfister, R., Neszmélyi, B., Kunde, W., & Horváth, J. (2022). Binding of Task-Irrelevant Action Features and Auditory Action Effects. *Journal of Cognition*, *5*(1), 35. <https://doi.org/10.5334/joc.225>
- Varga, S., Pfister, R., Neszmélyi, B., Kunde, W., & Horváth, J. (2024). Task-relevance and change detection in action-effect binding. *Acta Psychologica*, *243*, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104147>
- Weissman, D. H., Grant, L. D., Koch, I., & Hazeltine, E. (2023). Partial repetition costs index a mixture of binding and signaling. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *85*, 505–524. <https://doi.org/10.3758/s13414-022-02539-7>
- Wolpert, D. M., Diedrichsen, J., & Flanagan, J. R. (2011). Principles of sensorimotor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*, 739–751. <https://doi.org/10.1038/nrn3112>