

Mastergradsoppgave

Inter-effektor transfer, intra-limb transfer og bilateral transfer mellom proksimale og distale effektorer i de øvre ekstremiteter

Morten Andreàs Aune

Emnekode: MKØ210

Mastergradsoppgave i

Kroppsøving – og idrettsvitenskap

2013





SAMTYKKE TIL HØGSKOLENS BRUK AV MASTEROPPGAVE

Forfatter: Morten Andreas Aune

Norsk tittel: Inter-effektor transfer, intra-limb transfer og bilateral transfer mellom proksimale og distale effektorer i de øvre ekstremiteter

Engelsk tittel: Inter-effector transfer, intra-limb transfer and bilateral transfer of skills between the proximal and distal effectors in upper extremities

Kryss av:

Jeg samtykker i at oppgaven gjøres tilgjengelig på høgskolens bibliotek og at den kan publiseres på internett i fulltekst via BIBSYS Brage, HiNTs åpne arkiv

Min oppgave inneholder taushetsbelagte opplysninger og må derfor ikke gjøres tilgjengelig for andre

Kan frigis fra: _____

Dato:

Underskrift

Inter-effektor transfer, intra-limb transfer og bilateral transfer av ferdigheter mellom proksimale og distale effektorer i de øvre ekstremiteter.

Morten Andreàs Aune,
Høgskolen i Nord – Trøndelag

Hensikten med det foreliggende studiet var å studere inter-effektor transfer, intra-limb transfer og bilateral transfer mellom effektorer i armer med basis i tradisjonelle læringsteorier om transfer, samt de nevroanatomiske og nevrofysiologiske forklaringer på transfer.

Fjorten forsøkspersoner deltok i studiet, og de ble tilfeldig fordelt i to ulike treningsgrupper som trente i to trenings-kondisjoner; 1) Proksimal-treningsgruppe (dominant skulder og albue) eller 2) Distal-treningsgruppe (dominant index finger og håndledd). Før de ble fordelt i to treningskondisjoner ble det gjennomførte de en pretest i fire kondisjoner; 1) proksimal dominant arm, 2) proksimal ikke-dominant arm, 3) distal dominant hånd, 4) distal ikke-dominant hånd, og ved endt treningsperiode ble det foretatt en posttest i alle de fire kondisjonene.

Det ble påvist en signifikant forbedring i prestasjon i alle testkondisjoner etter gjennomført posttest, bortsett fra at distal treningsgruppe ikke hadde signifikant fremgang i proksimal ikke-dominant kondisjon. Studiet dokumenterte også en signifikant større bilateral transfer mellom proksimal muskulatur versus distal muskulatur.

Inter- og intra-limb effektor transfer kan forklares ut fra de tradisjonelle teorier om transfer av ferdigheter. Den interessante forskjellen i bilateral transfer mellom proksimale og distale effektorer kan ha en morfologisk forklaring gjennom at antallet kommissuralfibre resulterer i forskjeller i interhemisferisk kommunikasjon, og som resultere i ulik bilateral transfer av læring for proksimale og distale effektorer.

Nøkkelord: motorisk kontroll, motorisk læring, Corpus callosum, interhemisferisk kommunikasjon, nevralt fasilitering.

Inter-effector transfer, intra-limb transfer and bilateral transfer of skills between the proximal and distal effectors in upper extremities

Morten Andreàs Aune
Nord – Trøndelag University College

The purpose of the present study was to study the inter-effector transfer, intra-limb transfer and bilateral transfer between effectors of arms on the basis of traditional learning theories of transfer, as well as the neuroanatomical and neurophysiological explanations of transfer.

Fourteen subjects participated in the study and they were randomly divided into two different training groups: 1) Proximal-training group (dominant shoulder and elbow) or 2) Distal-training group (dominant index finger and wrist). Before the subjects were divided in the two training groups, they performed a pretest in the following four conditions: 1) proximal dominant arm, 2) proximal non-dominant arm, 3) distal dominant hand, 4) distal non-dominant hand, and by the end of the training period a post test of all four conditions were performed.

It was found a significant improvement in performance in all test conditions after completed post-test, except that the distal training group had no significant improvement in proximal non-dominant condition. The study also documented significantly greater bilateral transfer between proximal versus distal effectors.

Inter-and intra-limb effector transfer can be explained by the traditional theories of transfer of skills. The difference in bilateral transfer between proximal and distal effectors may have a morphologic statement by the number of commissural fibers resulting differences in interhemispheric communication, that might explain the difference in bilateral transfer of learning for proximal versus distal effectors.

Keywords: motor control, motor learning, Corpus callosum, interhemispheric communication, neural facilitation.

INNHOLDSFORTEGNELSE

INTRODUKSJON	6
Tradisjonell læringsteori og transfer.....	6
Nevroanatomiske og nevrofysiologiske forklaringer på transfer	8
Praktiske implikasjoner av transfer	10
Problemstillinger	11
METODE	11
Forsøkspersoner	11
Oppgaven	11
Utstyr	12
Prosedyre	14
Analyse av data	15
Statistiske analyser	15
RESULTATER	16
Inter-effektor transfer	16
Intra-limb transfer	16
Differanse i bilateral transfer for proksimale versus distale effektorer	17
DISKUSJON	18
Inter-effektor transfer og intra-limb transfer	18
Nevroanatomiske og nevrofysiologiske forklaringer på bilateral transfer	20
Praktiske implikasjoner av resultatene	21
Oppsummering og veien videre	22
REFERANSER	23
ETTERORD	25

INTRODUKSJON

All trening og læring innebærer at en skal kunne ta med seg det lærte å bruke det på et senere tidspunkt, i andre oppgaver og/eller i andre situasjoner, og dermed har all læring og utøvelse av ferdigheter et element av overføringsverdi i seg. Magill (2003) definerte den generelle forståelsen av transfer som ”*The influence of having previously practiced or performed a skill or skills on the learning of a new skill*”.

Litteraturen innen transfer av læring skiller mellom tre typer transfer:

- 1) Intra-task: fra en omgivelse eller situasjon til en annen (kontekstuell transfer).
- 2) Inter-task: fra en teknisk ferdighet til en annen (transfer av egenskaper og ferdigheter).
- 3) Bilateral transfer: forbedring i prestasjon i ikke-trent lem som et resultat fra trening med kontralateralt lem (Magill, 2003).

Intra-task transfer omhandler overføringsverdien mellom ulike kontekster. I idrett handler dette primært om å overføre ferdigheter fra de ulike treningssituasjoner til konkurransen, eller for en flyver å overføre en ferdighet fra en flysimulator til en flysituasjon i det virkelige liv.

Inter-task transfer utgjør også en viktig del innenfor det generelle begrepet transfer, ved at trening ofte inneholder mange deløvelser som er felles for flere ferdigheter eller har fellestrekk for andre ferdigheter. Dette i tro om at når deløvelsene settes sammen (for eksempel en sentralbevegelse i ulike kastøvelser) eller når de generelle egenskapene skal benyttes i idrettens funksjonelle helhet vil dette ha en positiv overføringsverdi. Eksempel på det siste kan være en tro på at generell trening av balanse (for eksempel på slakk line) vil ha positiv overføringsverdi til balanse i alpint.

Bilateral-transfer er et fenomen som demonstrerer individers evne til lettere å lære en ny ferdighet med en arm eller bein etter at ferdigheten har blitt innlært med motsatt arm eller bein (Magill, 2003). Eksempelvis når man forventer at en håndballspiller som har trent med sin prefererte høyre hånd, også vil dra nytte av treningen dersom vedkommende må ta i mot ballen med ikke-prefererte hånd.

Når man skal forklare årsakene til de ulike typene av transfer er det i hovedsak to hovedretninger; 1) transfer som en form for generell kompetanse som kan anvendes i mange sammenhenger (kognitiv forståelse, generelle motoriske programmer og 2) en mer spesifikk forklaring der transfer baserer seg på graden av likhet i kontekst og bevegelselementer. Det sistnevnte omtales som de *identiske elementers teori* (IET) (Thorndike, 1913). I tillegg så har

nevrofysiologisk forskning på motorisk kontroll og læring dokumentert mulige forklaringer på læring generelt og transfer (Dawson. J. m.fl, 2011; Edelman, 1992; Munn. J. m.fl, 2005), bla studier på bilateral transfer og interhemisferisk kommunikasjon.

De generelle og spesifikke årsaksforklaringene må også forstås innen rammen av tradisjonell læringsteori, men også basere seg med nevrofysiologiske mekanismer og forklaringer.

Tradisjonell læringsteori og transfer

Tradisjonell læringsteori, her definert som kognitiv læringsteori, teori om motoriske programmer, og stimuli-respons (S-R) teori, har alle mulige årsaksforklaringer til transfer av ferdighet.

Edward C. Tolman blir ofte sett på den som innleder tradisjonen som kalles *kognitiv psykologi*¹ (Oxendine, 1968). Innen kognitiv læringsteori legges det vekt på sentrale funksjoner, det at mennesket tenker når en organiserer stimuli, gir dem mening og responderer da etter hva formålet med bevegelsen er (Oxendine, 1968). Det mest sentrale poenget innen kognitiv forståelse av transfer ligger i teorien om *transfer-appropriate processing* (TAP). TAP baserer seg på at det er stor grad av likhet i kognitive prosesser mellom to ferdigheter eller to forskjellige prestasjonssituasjoner (Magill, 2011).

En mer moderne versjon av dette som har fått stor betydning i forståelsen av motorisk adferd finner vi hos Richard A. Schmidts (1975). Schmidts (1975) forklaring bygger på at motorisk kontroll og læring skjer gjennom utvikling av generelle motoriske program, eller motoriske skjema. Det essensielle med denne forklaringen i forhold til transfer av ferdighet er at parameterne i et generelt motorisk program kan anvendes for en bevegelsesferdighet for ulike effektorer² eller bevegelsesferdigheter som faller inn under samme klasse av bevegelser eller responser (Rose & Christina, 2006).

Innen stimuli-respons (S-R) teori vil transfer av ferdighet være avhengig av graden av likhet i komponentene som inngår i kontekst og bevegelsesform mellom treningen og den oppgaven som det skal presteres i (eksempelvis fra idrett så gjelder det fra trening til konkurransesituasjon, eller fra fysioterapeutens klinikk til hverdagslivet). Edward Lee Thorndike (1913) var som nevnt en av de første som innen denne teoretiske rammen som forklarte hvorfor transfer oppstår med det som ble kalt *identiske elementers teori* (IET). For

¹ Kognitiv psykologi er en gren innen psykologien som studerer hvordan mennesker sanser og behandler informasjon, og defineres som (Egidus, 1993)

² Effektor er her definert som "a component unit of the motor system that is involved in performing a movement. An effector is thus a muscle-joint system (Vangheluwe. S. M.fl, 2004).

størst mulig transfer så må i likhetene kunne bestå av fellestrekk i stimuli (S, dvs. perseptuelle aspekter), og/eller i responsen (R, dvs i den motoriske utførelsen), eller i forbindelsen mellom S og R (dvs i assosiasjonene mellom S og R). Innen IET forstås transfer som relativt spesifikk, og at jo større grad av spesifisitet i S og R i treningssituasjonen, jo større transfer vil det ha til eksempelvis idrettskonkurransen eller hverdagslivet (Magill, 2011).

En mer moderne versjon av Thorndikes teori finner en hos Burrhus F. Skinner (1965). Han ser på handlinger som en helhet kalt en operant. Dette er en S-R-S teori, hvor forbindelsen mellom elementene er formet gjennom det som han kaller ”contingencies of reinforcement”, altså forming av atferd og atferdspreferanser ut fra individets forsterkningshistorie. Også her fokuseres på felles elementer i situasjonsoppfatning, S, selve handlingen, R og de forsterkende konsekvensene av handlingen som virker tilbake på individet, R, noe som gjør at en operant (dvs. handling) kan generaliseres på ulike måter. Når transfer og læring ikke blir mulig forklarer skinner dette som mangel på felles elementer, som i selve responsdelen omtales av skinner som mangel på felles ”behavioral atoms” (Ingvaldsen, 1990).

Også *Dynamisk system teori* (DST) for motorisk kontroll forklarer transfer ved at de mener at læring er effektor uavhengig, og hevder det som omtales som *coordination dynamics* er lært uten referanse til bare de spesifikke effektorene som er involvert i treningen (Bardy, 2004; Fauglorie m.fl., 2005; Kelso & Zanone, 2002;). Det gjør at de lærte *coordination dynamics* hos en effektor vil kunne ha en positiv transfer til andre effektorer.

Nevroanatomiske og nevrofysiologiske forklaringer på transfer

Gerald Edelman (1992) forklarer motorisk læring som en seleksjon innad i nervesystemet der det skjer en forsterkning av de nervebaner som benyttes dersom adferden blir vurdert som positive (eller svekkes hvis adferden blir vurdert som negativ). Dette danner grunnlaget for teorien «*the theory of neural group selection*» (TNGS) som ofte omtales som nevr达尔winisme (Sigmundsson & Haga, 2004). TNGS hevder at de nerveforbindelser som benyttes ved trening og stimulering styrkes, og at de styrkede nervebaner danner strukturelle constraints³ i nervesystemet som bidrar til å redusere antall frihetsgrader når styrkeforholdet mellom nevralt nettverk endres (Edelman, 1992). Ut fra dette perspektivet kan man si at Edelmanns teori støtter perspektivet om at læring i utgangspunktet er spesifikk (Sigmundsson m.fl, 2004), og at trening derfor bør foregå med størst mulig grad av likhet for størst mulig

³ Constraints er definert som “boundaries or features that limit motion of the entity under consideration” (Newell, 1986).

prestasjonsframgang (Sigmundsson, 2004). På en annen side vil også generalisering oppstå på grunn av at det som kjennetegner høyerestående biologiske organismer er en prosess som kalles ”learning to learn”, og som skiller oss fra andre organismer. På bakgrunn av dette er det derfor et fortløpende samspill mellom spesifikke og generaliserende prosesser som kan forklare både spesifisitet i ferdigheter, men også transfer mellom ulike kontekster og ferdigheter, eller kontralaterale overføringsverdier av unilaterale ferdigheter mellom armer eller bein (bilateral transfer).

I praksis ser en dette ved at flere studier har påvist at en har forbedring i prestasjon i ikke-trent lem som et resultat fra trening i kontralateralt lem, og denne bilaterale transferen er en veldokumentert observasjon innen både tekniske ferdigheter og styrketrening (Dawson m.fl, 2011; Farthing og Chilbek, 2005; Munn m.fl , 2005; Swift, 1903). Dermed ser en at alle læringsteoriene på ulik måte kan forklare transfer av ferdigheter. De kan derfor i prinsippet også hver for seg være årsaksforklaringer på bilateral transfer. Det som skiller nevroanatomiske og nevrofysiologiske studier fra de andre teoriene er at en nå med moderne teknologi som for eksempel functional magnetic resonance imaging (fMRI)⁴, kan verifisere modellene gjennom observasjon av hjerneaktivitet. Dette har vist at det er betydelig kommunikasjon mellom hemisfærene og aktivisering av homologous effektorer på motsatt side av kroppen ved unilaterale bevegelser (Magill, 2011; Rose & Christina, 2006).

Denne interhemisferiske kommunikasjon som finner sted gjennom Corpus callosum er viktig for å koordinere og samordne bevegelser på begge sidene av kroppen (Brodal, 2001), samt at det antas at den interhemisferiske kommunikasjon er sentral ved bilateral transfer av motoriske ferdigheter (Magill, 2011; Hellige, 1993; Vangheluwe m.fl., 2004;).

Hovedfunksjonen til Corpus callosum er å koble sammen homogene corticale områder i motor cortex⁵ i de to hemisfærene (Brodal, 2001; Bloom, Hynd, 2005). Corpus callosum forbinder hjernehalvdelen med en plass mellom 200 og 800 millioner kommisuralfibre (Banich, 1995), og det foregår det en balanse mellom inhibitoriske og eksitatoriske innerveringer for å skape hensiktsmessig kontroll, koordinasjon og læring av bevegelser (Brodal, 2001).

Når det gjelder bilateral transfer av ferdigheter så synes en plausibel forklaring å være at det foregår en bilateral fasilitering av nervesignaler ved trening unilateralt, og dette er

⁴ fMRI er funksjonell hjerneavbildningsteknikk som kan fremstille endringer i aktivitet i områder i hjernen (Magil, 2011)

⁵ Motor cortex er den delen av hjernen som planlegger og gjennomfører bevegelsene (Brodal, 2001).

påvist med målinger av både elektroencefalogram (EMG)⁶, electromyography (EEG)⁷ og fMRI (Perez, 2007; Magill, 2011).

Videre er det også en annen interessant nevroanatomi og nevrofysiologisk forskjell mellom proksimale og distale effektorer der antallet kommissuralfibre som går gjennom Corpus callosum er ulikt (Brodal, 2001, Jenny, 1979, Pandya & Vignolo, 1971). Distale effektorer har et fåtall kommissuralfibre i corpus callosum sammenliknet med proksimal muskulatur, og det gjør at det er en større grad av interhemisferisk kommunikasjon mellom corticale områder som styrer proksimale effektorer sammenliknet med distale effektorer (Brodal, 2001). I forlengelsen av denne morfologiske forskjellen så er en mulig hypotese at det vil influere på graden av interhemisferisk kommunikasjon for proksimale versus distale effektorer, og at det vil kunne resultere i større grad av bilateral transfer av ferdigheter for proksimale effektorer sammenliknet med distale effektorer.

Praktiske implikasjoner av transfer

Transfer av læring er et viktig, eller kanskje det viktigste temaet, hvis man ser på dette med en praktisk tilnærming. Eksempelvis innen idrett er dette sentralt for effektiv overføringsverdi fra treningsøvelser til konkurransesituasjon, men det har også klare praktiske implikasjoner innen for eksempel man-machine interface (MMI)⁸ (koblingen mellom menneske og maskin) og utvikling av styringsenheter. Ser man på de ulike styringsenhetene er de produsert i forskjellige typer som for eksempel, store eller små, og er plassert i ulike posisjoner i forhold til operatøren. Det gjør at operatøren må kontrollere de ulike styringsenhetene med ulik muskulatur. Et praktisk eksempel på at styringsenheter kontrolleres med ulik muskulatur er i de ulike flytypene. Airbus kontrolleres av en liten joystick styrt med distale effektorer, mens Boeing har den tradisjonelle sentrerte toarmete styringsenheten plassert foran operatøren styrt med proksimale effektorer. Når piloter har flydd som co-piloter en periode så blir de forfremmet til å bli kaptein. Dette er ikke bare endring i rang, men også et skifte av posisjon i flyet (flytter fra venstre til høyre sete i flyet), og det medfører at de må operere deler av utstyret med kontralateral arm i forhold til tidligere. Dette kan medføre dårligere motorisk kontroll og koordinering, som igjen trolig vil påvirke flyprestasjonen negativt hvis det ikke er 100% bilateral transfer av ferdigheten.

⁶ EMG er en undersøkelse av den elektriske aktiviteten i musklene (Magill, 2011).

⁷ EEG er en nevrofysiologisk måling og registrering av hjernens elektriske aktivitet (2011).

⁸ Man-Machine Interface (MMI) refererer til hvordan interaksjonen foregår mellom menneske og maskin eller en type utstyr.

Problemstillinger

Basert på teoriene som årsaksforklarer transfer har det foreliggende studiet til hensikt å se på følgende problemstillinger:

1. Resulterer trening av et effektor system til transfer av ferdighet til andre effektor systemer både intra-limb og inter-limb.
2. Fører unilateral trening av proksimale og distale effektorer til ulik bilateral transfer, som en kan predikere som et resultat av forskjeller i interhemisferisk kommunikasjon.

METODE

Forsøkspersoner

9 menn og 5 kvinner deltok frivillig i studiet. Alle forsøkspersonene var høgstudenter (gjennomsnittlig alder $25 \pm 1,3$ år) med ingen kjente nevro-muskulære sykdommer eller funksjonelle begrensinger. Alle forsøkspersonene var definert som høyrehendte gjennom Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Alle forsøkspersonene ble skriftlig informert om studiet, og ga skriftlig samtykke om deltakelse før oppstart av eksperimentet. Studiet er gjennomført i henhold til Helsinki Deklarasjonen og godkjent av Regional Etisk komite.

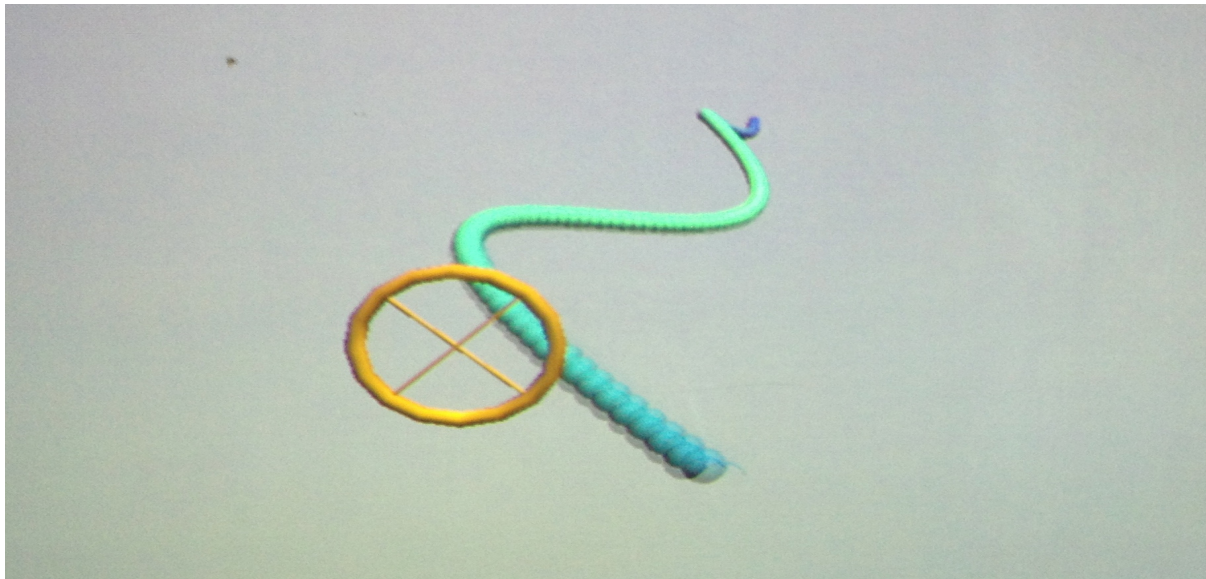
Oppgaven

Forsøkspersonene ble satt til å gjennomføre en 2D trackingoppgave kalt Coordinate V1 (utviklet ved Avdeling for Spill og opplevelsesteknologi, Høgskolen i Nord-Trøndelag) der hensikten var å holde et sikte i senter av en bevegende target-løype i horisontalt og vertikalt plan på en skjerm ved hjelp av joystick (Se figur 1). Forsøkspersonene så hele tiden hvor sikte var i forhold til target-løypa, og i tillegg så ble det gitt forsterket visuell feedback når senter av sikte var i senter av target-løypen (at siktepunktet overlappet med target) med et hvitt lyspunkt. Alle avvik fra sikte til target-løypen ble registrert i både horisontalt (x-plan) og vertikalt plan (y-plan) (se figur 1).

Forsøket ble gjennomført i med to forskjellige joysticker tilpasset og skalert for bruk av distale og proksimale effektorsystemer, der distale ble definert som index finger og håndledd, og proksimale som skulder og albue.

Videre så ble forsøket gjennomført med bruk av distale og proksimale effektor systemer både for dominant og ikke-dominant, altså totalt fire kondisjoner. Bevegelsesområdet, eller range of movement (ROM), ble skalert og kalibrert for å kunne

sammenlikne den proksimale og distale kondisjonen. ROM ble standardisert ut fra 15° fleksjon og 15° ekstensjon (totalt ROM 30°) for både distale og proksimale effektorsystem.

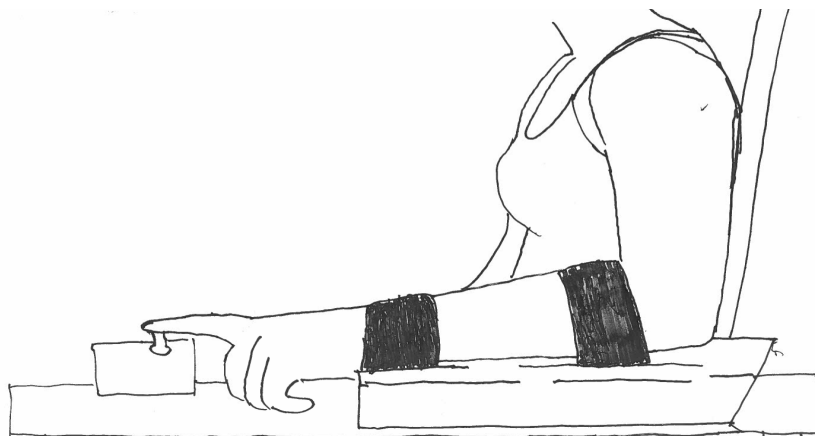


Figur 1: Figuren viser target-løypen og sikte. Hensikten var å holde senter av sikte i senter av den bevegende target-løypen både horisontalt og vertikalt plan.

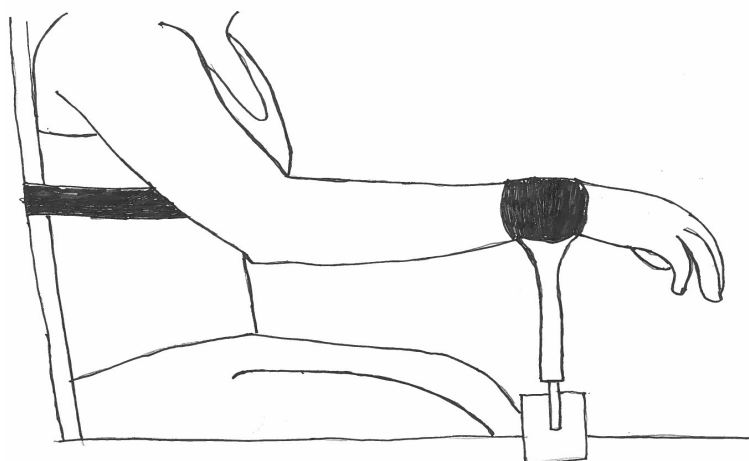
Utstyr

Et spesiallaget «virtuelt flyprogram» (trackingoppgave) hvor avstanden mellom target og sikte ble registrert for både horisontalt (x-akse) og vertikalt (y-akse) med en samplingsfrekvens på 100hz. Forsøkspersonene var plassert 230cm fra skjermen (skjermens størrelse var 100x135 cm) i både de proksimale og distale test- og treningskondisjonene (se figur av testoppsett).

En Logitech joystick (Logitech Gamepad F310) ble ombygd slik at lengden på joystickens stamme fra rotasjonspunktet på joysticken og kontaktpunktet til forsøkspersonen kunne forlenges eller kortes ned slik at de proksimale og distale effektorene hadde identisk ROM i de respektive kondisjonene for alle forsøkspersoner. I både den distale og proksimale kondisjonen satt forsøkspersonen i en stol, der forsøkspersonen var avstivet med spesiallaget utstyr med den hensikt å isolere bevegelser med de respektive leddene (se figur 2 og figur 3).



Figur 2. Eksperimentelt oppsett for distal oppgave. For å isolere bevegelsene til bare distal effektor ble forsøkspersonen begrenset med rigide borrelås som illustrert med svart. Forsøkspersonen satt oppreist i stolen med armen pronert som vist i figur.



Figur 3. Eksperimentelt oppsett for proksimal oppgave. For å isolere bevegelsene til proksimal effektor ble forsøkspersonen begrenset med rigide stropper som illustrert med svart. Forsøkspersonen satt oppreist i stolen med kontaktpunktet på den distale delen av underarmen.

Under de distale kondisjonene var underarmen isolert med rigide borrelås liggende på et bord ved siden av forsøkspersonen slik at bare index finger og håndledd kunne bevegese, og med kontaktpunktet mellom forsøkspersonen og joysticken på den distale delen av index finger. Posisjonen for underarmen var pronert og med index finger i vannrett forlengelse i forhold til underarm (se figur 2). Under de proksimale kondisjonene var forsøkspersonens overkropp avstivet med rigide borrelås og føttene avlastet slik at kun skulder og albue kunne bevegese, og

med kontaktpunktet mellom forsøkspersonen og joysticken på den distale delen av underarmen (se figur.3).

Prosedyre

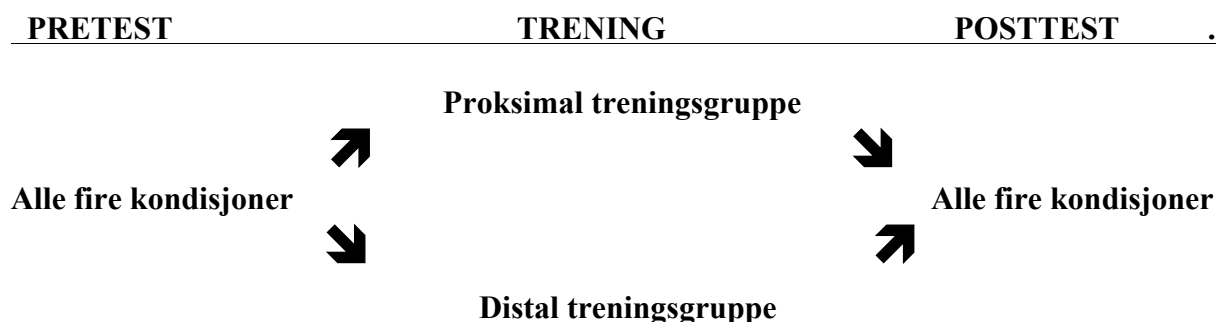
De fjorten forsøkspersonene gjennomførte pretest på en dag i fire test-kondisjoner;

- 1) proksimal dominant arm (PD),
- 2) proksimal ikke-dominant arm (PND),
- 3) distal dominant arm (DD) og
- 4) distal ikke-dominant arm (DND)

I forkant av den første kondisjonen fikk forsøkspersonen en kort instruksjon for hva som var hensikten med oppgaven, mens forsøkspersonen i alle kondisjoner fikk et test-forsøk med påfølgende tre registrerte og analyserte forsøk. Alle de respektive kondisjonene under pretesten var randomisert for å eliminere læringseffekten mellom kondisjoner.

Etter pretesten ble forsøkspersonen tilfeldig fordelt i to ulike treningsgrupper som trente i to trenings-kondisjoner; 1) Proksimal-treningsgruppe som trente med skulder og albue som effektorsystem, eller 2) Distal-treningsgruppe trente med index finger og håndledd som effektorsystem. Gruppen gikk deretter inn i en treningsperiode der de respektive gruppene trente med dominant arm med proksimal-joystick eller dominant arm med distal-joystick. Treningsperioden hadde en varighet på 14 dager med totalt 6 økter med gjennomsnittlig en hviledag mellom hver økt. Hver enkelt økt bestod av 20 forsøk med en varighet på 30 sekunder per forsøk, og med en pause på 5 min halvveis ut i økta (etter ti forsøk) før gjennomføring av de siste ti forsøkene. Dette resulterte i til sammen 120 forsøk a 30 sekunder. Etter treningsperioden ble det gjennomført posttest av alle test-kondisjoner på samme måte som i pretesten.

Forsøket ble altså gjennomført som et eksperimentelt pre – og post design ut fra følgende oppsett:



Analyse av data

Basert på de tre forsøkene i de respektive fire test-kondisjonene ble prestasjonen evaluert ved å beregne gjennomsnittlig avvik fra target-løype og forsøkspersonenes faktiske posisjon i horisontalt plan (x-plan) og vertikalt plan (y-plan) beregnet, og samlet avvik (SA) for de to planene ble beregnet ut fra Pytagoras sin formel:

$$SA = \sqrt{(x^2 * y^2)}$$

For hver kondisjon var det gjennomsnittet av de tre forsøkene som ble brukt videre i dataanalysene. Prestasjonsmålene ble målt i virtuelle meter som er en standardisert måleenhet satt i programmet (Coordinate V1).

SA mellom pretest og posttest i alle fire kondisjoner ble brukt for å evaluere effekten av treningen fra den dominante trente armen i de to ulike treningskondisjonene (proksimal og distal). For å evaluere eventuelle forskjeller i bilateral transfer for proksimale og distale ledd ble det relative forholdet mellom framgangen på trent arm og ikke-trent arm for den proksimale og distale treningsgruppen beregnet og analysert.

Statistiske analyser

For å vurdere effekten av den proksimale og distale treningen til alle fire kondisjoner ble absolutte verdier for SA fra pre- og posttest analysert med en parett *t*-test.

For eventuelle forskjeller i bilateral transfer for proksimal og distal treningsgruppe til homogene kontralaterale ledd ble det relative forholdet mellom framgangen på trent arm og ikke-trent arm for den proksimale og distale treningsgruppen beregnet og analysert ved en to utvalgs *t*-test.

Alle statistiske analyser ble gjort via programmet SPSS 19.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), og kriteriet for å indikere om resultatene var statistisk signifikante var $p \leq 0.05$.

RESULTATER

Inter-effektor transfer

Målt i absolutte verdier for SA viser at presisjonen var signifikant forbedret mellom pre- og posttest for dominant side for både proksimal og distal treningsgruppe, henholdsvis $t(6) = 5,185, p = 0,002$ og $t(6) = 5,502, p = 0,002$, noe som viser at den gjennomførte treningen har ført til prestasjonsframgang i trente kondisjonen (se tabell 1). I tillegg så viser tabell.1 at var en signifikant prestasjonsframgang målt i absolutte verdier for SA for pre- og posttest for alle de andre kondisjonene, foruten at distal treningsgruppe ikke hadde en signifikant fremgang til proksimal ikke-dominant kondisjon. Inter-effektor transfer oppstår dermed i 5 av 6 tilfeller.

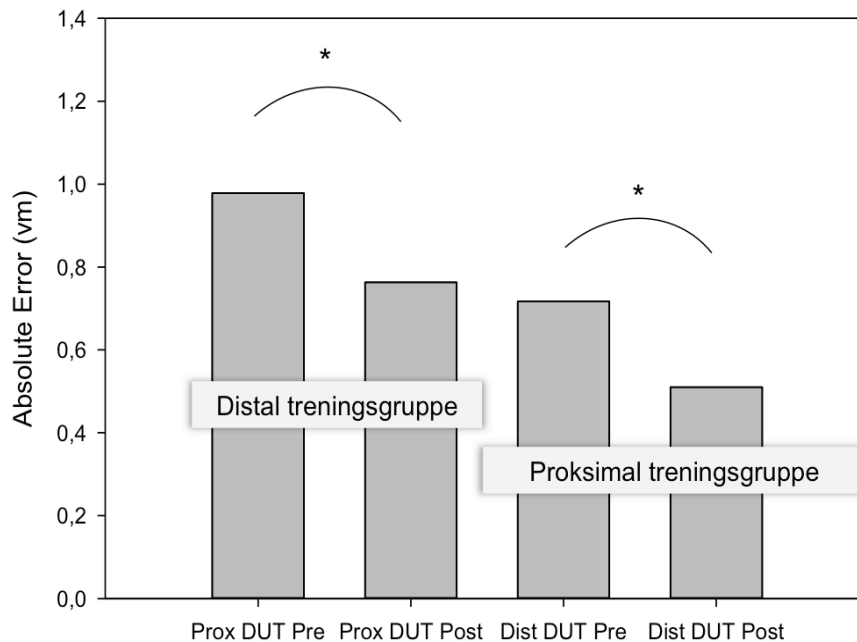
Tabellen viser også framgangen i ikke-dominant side som et resultat av trening med dominant side for både proksimal og distal treningsgruppe, henholdsvis $t(6) = 7,707, p = 0,001$ og $t(6) = 3,908, p = 0,008$, som bekrefter at det er forekommer signifikant bilateral transfer av læring til kontralateral side for både proksimale og distale ledd (se tabell 1).

Tabell 1. Tabellen viser absolutte verdier for SA i pre- og posttest i alle kondisjoner hos distal og proksimal treningsgruppe. * indikerer signifikant forskjell mellom pre- og posttest for de fire test-kondisjonene.

	PRETEST		POSTTEST		T-verdi	P-verdi
	Gj.snitt	SD	Gj.snitt	SD		
PROKSIMAL TRENINGSGRUPPE						
<i>Proksimal Dominant</i>	0,87	0,22	0,51	0,13	5,185	.002*
<i>Proksimal ikke-Dominant</i>	0,96	0,17	0,70	0,15	7,707	.001*
<i>Distal Dominant</i>	0,72	0,09	0,50	0,08	5,597	.001*
<i>Distal ikke-Dominant</i>	0,69	0,08	0,61	0,09	5,497	.002*
DISTAL TRENINGSGRUPPE						
<i>Proksimal Dominant</i>	0,96	0,15	0,76	0,18	3,197	.024*
<i>Proksimal ikke-Dominant</i>	0,99	0,18	0,89	0,15	1,906	.105
<i>Distal Dominant</i>	0,78	0,18	0,46	0,08	5,502	.002*
<i>Distal ikke-Dominant</i>	0,79	0,16	0,62	0,09	3,908	.008*

Intra-limb transfer

Figur 4 viser at de to treningene med enten distale effektor systemer eller proksimale effektor systemer hadde en signifikant forbedring i intra – limb transfer mellom pre – og posttest. Proksimal og distal treningsgruppe hadde ut ifra absolutte verdier en signifikant forbedring på henholdsvis $t(6) = 5,597, p = 0,001$ og $t(6) = 3,197, p = 0,024$.

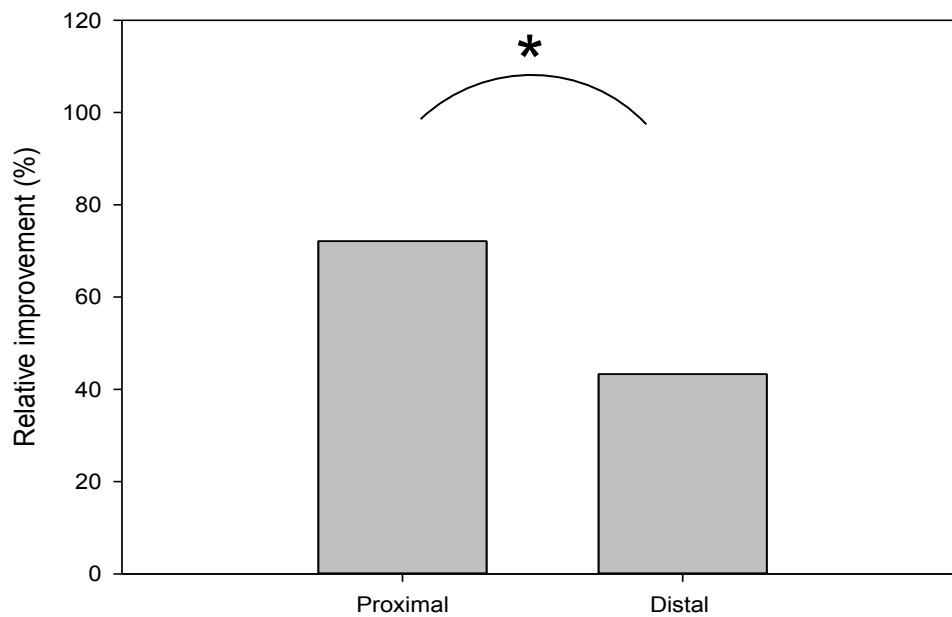


Figur 4. Figuren viser intra-limb transfer målt i absolutte verdier, og viser den signifikante forbedringen mellom pre – og posttest i utrente effektorer innad i trent arm. * indikerer signifikant forbedring mellom pre- og posttest. Forkortelsene Prox DUT = proksimal dominant arm utrent, mens Dist DUT = Distal dominant arm utrent.

Differanse i bilateral transfer for proksimale versus distale effektorer

For å sammenlikne den relative størrelsen i prestasjonsframgangen til homogene ledd på kontralateral side og bilateral transfer av læring for proksimale versus distale ledd, ble den relative fremgangen for proksimal og distal treningsgruppe kalkulert.

Proksimal treningsgruppe hadde en relativ framgang på $72,09 \pm 26,97$ %, mens distal treningsgruppe hadde en relativ framgang på $43,26 \pm 18,03$ %. En to utvalgs t-test indikerte at det er en statistisk signifikant forskjell på størrelsen av bilateral transfer av læring for proksimal og distal treningsgruppe, $t(6) = 2,351, p = 0,037$.



Figur.5. Figuren viser forskjellen bilateral transfer for proksimal versus distal treningsgruppe beregnet som relativ fremgang i trent dominant arm i forhold til framgang i ikke-trent non-dominant arm for proksimal og distal treningsgruppe. * indikerer signifikant forskjell i bilateral transfer for proksimal og distal treningsgruppe.

DISKUSJON

Hensikten med dette studiet var å studere inter- og intra effektor transfer av ferdighet, samt sammenlikne bilateral transfer i proksimale og distale effektorer. For å kunne sammenlikne proksimale og distale effektorer ble bevegelsesområdet standardisert og kalibrert, og total ROM for fleksjon og ekstensjon var satt til 30°. Resultatene viser til at det forekommer inter-effektor transfer, inter-limb transfer og bilateral transfer mellom proksimale og distale effektorer i armer.

Inter-effektor transfer og intra-limb transfer

For både proksimal treningsgruppe (de som hadde trent med dominant skulder-albue) og distal treningsgruppe (de som hadde trent med dominant håndledd og index finger) så var det en signifikant forbedring av ferdighet i den trente kondisjonen. I tillegg så var det for proksimal treningsgruppe en signifikant forbedring i ferdighet i alle de tre øvrige kondisjonene mellom pre- og posttest, og det bekrefter at det er både en inter-effektor og intra-limb effektor transfer fra trent dominant proksimal effektor til de øvrige effektorene i studiet. For distal treningsgruppe var det signifikant inter-effektor og intra-limb effektor transfer av ferdighet mellom pre- og posttest til to av de tre andre kondisjonene. Den

effektoren det ikke var signifikant transfer for var mellom trent dominant distal effektor til non-dominant proksimal effektor, som da illustrer at det i dette tilfelle ikke forekommer en inter-effektor transfer mellom disse effektorene. En må derfor spørre, hva som kan bidra til denne forskjellen i transfer vs ikke-transfer?

Poenget her er at prestasjonsfremgangen i inter-effektor og intra-limb transfer kan forklares med alle læringsteorier omkring transfer. Ettersom de kognitive prosessene i dette studiet var identiske, noe som teorien om TAP hevder er viktig for at det skal oppstå transfer, altså at de kognitive prosessene i treningskonteksten helt lik prestasjonskonteksten (Oxendine, 1968). Tolmans (1934) forklaring er da selvfølgelig relevant ettersom at forståelsen av målet med oppgaven er avgjørende for å respondere hensiktsmessig. En gjenkjenner ulike stimuli (S dvs. perseptuelle aspekter) som da blir pekepinner i vår persepsjon av omgivelsene og vil da gjennomføre en hensiktsmessig respons (R, dvs i den motoriske utførelsen) forutsett fra tidligere erfaringer fra en lik kontekst (Oxendine, 1968). I dette studiet var den kognitive forståelsen av oppgaven lik bare at det skulle brukes ulike effektorsystemer for å få transfer.

Teorier om generelle motoriske program kan også benyttes for å forklare den generelle overføringsverdien mellom effektorer. Det gjennom at det ervervede motoriske programmet for den trente effektoren kan anvendes på de øvrige effektorene i de øvre ekstremiteter. Desto større transfer, desto mer vil en da snakke om at atferden styres av et skjema, som langt på vei blir effektor uavhengig (Schmidt, 1975). Dynamiske systemteorier (DST) ser også ut til å være en forklaringsmodell ettersom læring er effektor uavhengig (Kelso og Zanone, 2002), og kan overføres på tvers til andre typer effektorsystem som vist i dette studiet.

I forhold til disse forklaringene er det vanskelig å se at en ikke kan predikere transfer fra trent dominant distal effektor til utrent ikke dominant proksimal effektor.

Thorndikes identiske elementers teori (IET) kan også bidra til å årsaksforklare inter-effektor og intra-limb effektor gjennom at det må være felles elementer i S og R for at det skal kunne oppstå transfer (Thorndike, 1913). Problemet her at forklaringen lett blir sirkulær, der en finner transfer er det felles elementer, mens der man ikke finner transfer er det ikke felles elementer. Modellen blir derfor av den grunn ikke av nytte til å forklare foreliggende data. Det sammen kan en også si om skinner (1965) operante teori om transfer.

En annen mulig forklaring av at det ikke er transfer mellom dominant distal effektor og proksimal non-dominant effektor kan ligge i graden av interhemisferisk kommunikasjon. Det er færre kommissuralfibre for distal muskulatur, og det kan føre til mindre fasilitering av nervesignaler til proksimale effektorer i kontralateral arm når en distal effektor er aktiv

Differanse i bilateral transfer for proksimale effektorer versus distale effektorer

En mulig forklaring på bilateral transfer generelt kan basere seg på nevroanatomy og neurofysiologi, og funksjonen til Corpus callosum. En av hovedfunksjonene til Corpus callosum er å binde sammen homogene kortikale områder i hjernen (Bloom, Hynd, 2005; Brodal, 2001;), og økt aktivisering kontralateral hemisfære ved unilaterale bevegelser kan føre til bilateral transfer av læring. Årsaken til at det er større bilateral transfer mellom proksimale effektorer sammenliknet med distale effektorer kan ligge i ulikhetene i nevroanatomy og neurofysiologi for de to effektor systemene. Distale effektorer har dessuten betydelig færre kommissuralfibre i Corpus callosum sammenliknet med proksimal muskulatur, og det gjør at det trolig er en større grad av interhemisferisk kommunikasjon mellom kortikale områder som styrer proksimale effektorer sammenliknet med distale effektorer (Brodal, 2001). Dette gir en mulig forklaring på forskjellen i bilateral transfer for proksimale og distale effektorer.

Videre kan andre nevroanatomiske og neurofysiologiske forklaringer influere på bilateral transfer ved at distal muskulatur er kontrollert og innervert hovedsakelig av kontralateral cerebral hemisfære gjennom de mer direkte monosynaptiske laterale nedadgående baner, mens kontroll og innervering av proksimal muskulatur ikke har samme grad av kryssing gjennom de polysynaptiske ventromediale nedadgående baner (begge baner tilhører de viljestyrte pyramidale banene) (Brodal, 2001). Trolig vil ikke kryssingen eller ikke-kryssing i medulla oblongata kunne forklare bilateral transfer i seg selv, men en høyere forekomst av polysynaptiske baner for proksimal muskulatur vil kanskje gjøre det mulig å skape flere nevrologiske koblinger som kan påvirke graden av bilateral transfer til fordel for proksimal muskulatur versus de mer monosynaptiske baner som innerverer distal muskulatur.

Ved bilateral transfer ser det uansett ut som den interhemisferiske kommunikasjonen kan virke eksitatorisk på musklene, men det er trolig avhengig av bevegelsens egenart. Funnet i dette studiet er i overensstemmelse med funnet til Aune m.fl (2013) der det ble påvist at bilateral force deficit (BFD) var større for proksimal muskulatur versus distal muskulatur. Aune m.fl (2013) skisserer at mulig årsak er at det store antallet kommissuralfibre for proksimal muskulatur sammenliknet med distal muskulatur, og at kommissuralfibre trolig kan ha en inhiberende effekt på maksimal kraftutvikling når to homogene ledd kontraherer samtidig.

Ut fra dette så kan det se ut til at kommissuralfibre kan ha en inhibitorisk funksjon i forbindelse med BFD, mens kommissuralfibre også kan ha en fasiliterende effekt ved andre typer oppgaver som resulterer i bilateral transfer av læring. En annen mulig forklaring på

dette ville være at inhiberingen skjer på ryggmargsnivå (Brooke m.fl., 1995). Disse to forklaringene kan også være komplementære.

Det som foreslås her er altså at den interhemisferiske kommunikasjonen ikke bare påvirker kraftutviklingen, men også koordinasjonen og transfer av bevegelser. Det er i samsvar med tidligere studier som har vist transfer av proksimale bevegelser (Swift, 1903). Samtidig er det også i samsvar med at distale funksjoner for armene ofte er mer spesialisert (Williams m.fl, 1999). I dette perspektivet blir det å forvente at det ikke er inter-effektor transfer fra proksimal effektor til distal kontralateral effektor, samtidig er kanskje mer uventet fra de respektive data er at det er intra-limb transfer fra trent distal effektor til proksimal effektor. Dette illustreres kanskje av at det er her en finner den nest laveste transfer effekten ($t=3,197$).

At det også foregår en bilateral fasilitering av nervesignaler ved unilaterale bevegelser er vist både ved EMG, EEG og fMRI (Magill, 2011; Perez, m.fl, 2007;), og med Edelmans (1992) teori om at det forekommer en forsterking av de nervebanene som aktiveres (neural darwinisme). Dette kan være med på å forklare bilateral transfer for både proksimale og distale effektorer generelt, men også det foreliggende funnet av at det er større bilateral transfer for proksimale effektorer sammenliknet med distale effektorer.

Praktiske implikasjoner av resultatene

Praktiske implikasjoner for de ulike resultatene i idrett kan være at en i skuddtrening eller pasningstrening i fotball vi få størst bilateral transfer hos proksimal muskulatur i føttene, og distal muskulatur kommer i andre rekke. En kan fortære lære seg å skyte eller slå en innsidepasning i fotball, men innflytelsen på presisjon har dårligere transfer ettersom distal muskulatur er blitt vist å være avgjørende i presisjon (Williams m.fl, 1999). Det samme kan være når en håndballspiller skal ta i mot en ball med sin ikke-dominante hånd, en klarer å lokalisere armen i forhold til ballbanen, men når en skal gripe ballen er det vanskeligere ettersom det er en mindre bilateral transfer til distale effektorer enn proksimale.

Også i forhold MMI og styringsenheter i fly kan det se ut som om det er mest hensiktsmessig å bruke styringsenheter som i hovedsak er kontrollert av proksimal muskulatur ettersom piloter bytter side i cockpiten når de blir kaptein.

Oppsummering og veien videre

Resultatene fra dette studiet er basert på funksjonelle adferds data, og i store deler av datamaterialet så kan de tradisjonelle læringsteoriene bidra med forklaringer på transfer. Ser man nærmere på nevroanatomiske og nevrofysiologiske forklaringer på funnene, og kanskje spesielt i forbindelse med forklaringer bilateral transfer, henvises det til interhemisferisk kommunikasjon og at det forekommer en interhemisferisk fasilitering på tvers av hemisfærene. Det er ikke foretatt direkte målinger av slike funn i dette studiet, og videre studier for proksimale og distale forskjeller på transfer generelt og bilateral transfer kan dermed være å måle hjerneaktivitet og muskelaktivitet med henholdsvis EEG og EMG. Målinger av hjerneaktiviteten kan gi en mer detaljert innsikt i interhemisferisk kommunikasjon for proksimal og distal muskulatur, og bidra til å årsaksforklare transfer. Direkte målinger av nevralfasilitering med EEG og/eller fMRI kan vise påvise nevralfasilitering til kontralaterale kortikale områder og evt forskjeller mellom distal eller proksimal muskulatur ved unilaterale bevegelser. EEG målinger påviser ikke alene bilateral transfer, men med EMG målinger i tillegg så kan man påvise graden av innervering av kontralaterale homogene muskler.

Funnene i det foreliggende studiet bekrefter at forekommer både inter-effektor transfer, intra-limb transfer og bilateral transfer, og i kombinasjon med de morfologiske forskjellene for proksimale og distale effektorer, gjør det interessant å gå videre med studier på transfer av ferdighet med nevrofysiologiske målinger.

REFERANSER

- Aune, T.K, Aune, M.A, Ettema, G, Vereijken, B (2013) Comparison of bilateral force deficit in proximal and distal joints in upper extremities. *Human Movement Science*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2013.01.005>
- Banich M.T. (1995a) Interhemispheric processing: Theoretical considerations and empirical approaches. In R.J. Davidson K Hugdahl (Eds.). *Brain Asymmetry*, MIT Press, Cambridge, MA. pp. 427-450
- Bardy, B.G. (2004). Postural coordination dynamics in standing humans. In V.K. Jirsa & J.A.S Kelso(Eds.), *Coordination dynamics: Issues and trends*(pp.103-121). Berlin: Springer.
- Brodal, P.(2001). *Sentralnervesystemet*. Oslo: Universitetsforlaget AS
- John D. Brooke, William E. McIlroy, David F. Collins, John E. Misiaszek (1995). Mechanisms within the human spinal cord suppress fast reflexes to control the movement of the legs. *Brain Research* 679. 255-260
- Bloom JS, Hynd GW. (2005). The role of corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? *Neuropsychological Review*, 15: 59-71.
- Dawson J. Kidgell, Mark A. Stokes, and Alan J. Pearce (2011). Strength Training of One Limb Increases Corticomotor Excitability Projecting to the Contralateral Homologous Limb. *Motor Control*, 15, 247-266.
- Fauglorie, E. Bardy, B.G., Merchi, O., & Stoffregen, T.A. (2005). Exploring coordination dynamics of the postural system with real-time visual feedback. *Neuroscience Letters*, 374, 136-141.
- Farthing, J., Chilibeck, P., & Binsted, G. (2005). Cross-education of arm muscular strength is unidirectional in right-handed individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 1594–1600.
- Edelman, G. (1992). *Bright air, brilliant fire: On the matter of the mind*. Harmondsworth: Penguin.
- Egidus, H., (1993). *Psykologiske grunnbegreper*. Norsk utgave. Nikolai Olsens Trykkeri a.s, Kolbotn
- Hellige, J.B. (1993). *Hemispheric asymmetry: What's right and what's left?* Cambridge, MA: Harvard University press.
- Ingvaldsen, R. P., (1990) *Bruk av operante teknikker i trening*, (doktoravhandling) psykologisk institutt og idrettshøgskolen-AVH, Universitetet i Trondheim
- Jenny, A.B. (1979). Commissural projections of the cortical hand motor area in monkeys. *Journal of Comparative Neurology*. 188 (1), 137-145.
- Kelso, J.A.S., & Zanone, P.G. (2002). The coordination dynamics of learning and transfer across effector systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28 (4), 776-797.
- Magill, R. (2003). *Motor learning and control: Concepts and applications*. 7th ed., McGraw-Hill, USA.

- Magill, R. (2011) *Motor learning and control: Concepts and applications*. 9th ed., McGraw-Hill, USA.
- Munn, J., Herbert, R., Hancock, M., & Gandevia, S. (2005b). Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.), 99, 1880–1884.
- Newell, K. M. (1986). *Constraints on the development of coordination: Motor development in children: Aspects of coordination and control* (s.341-360). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Oxedine, J.B (1968) *Psychology of motor learning*. Meredith Corp, New York.
- Pandya, D.N., Vignolo, L.A. (1971). Intra and interhemispheric projections of the precentral. *Brain Research*, 26(2), 217-233.
- Perez, M.A, Tanaka, S., Wise, S.P, Sadato N, Tanabe H.C. (2007). Willingham DT and Cohen LG. Neural substrates of intermanual transfer of a newly acquired motor skill. *Current Biology*, 17, 1896-1902.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Skinner, B.F. (1965). *Science and human behavior*. London: The Free Press
- Sigmundsson, H. (2004). *Motorikk og samfunn. En samfunnsvitenskapelig tilnærming til motorisk atferd*. Selbu forlag.
- Rose, D.J & Christina.R.W. (2006). *A Multilevel Approach to the Study of Motor Learning and Learning*. 2nd ed. Pearson education. San francisco.
- Swift, E. J. (1903). Studies in the psychology and physiology of learning. *American Journal of Psychology.*, 14, 201-205.
- Tolman, E. C (1934). Theories of learning. In F. A. Moss (Ed), *Comparative psychology*. Englewood Cliffs, N. J.; Prentice-Hall
- Thorndike, E. L. (1913). Educational psychology. Vol.2. *The psychology of learning*. New York: Teachers College.
- Vangheluwe. S., Puttemans.V., Wenderoth., Van Baelen. M. & Swinnen. S.P. (2004). Inter-and intralimb transfer of bimanual task: generalisability of limb dissociation.. *Behavioural brain research*, 154. 535-547.
- Williams A.M, Davids. K & Williams J.G (1999). *Visual perception & action in sport*. Taylor & Francis, USA.

ETTERORD

Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere høskolelektor Tore Kristian Aune og professor Rolf Petter Ingvaldsen for god veiledning underveis i masteroppgaven, og i oppstartsfasen for gode ideer rundt oppgaven. En stor takk rettes også til Trond Skjevik ved Avdeling for Spill og opplevelsesteknologi, Høgskolen i Nord-Trøndelag for utvikling av programvaren, og til alle forsøkspersonene som deltok.