

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Luka PRAPROTNIK

**MOČ IN SPRETNOST PRIJEMA MED OTROKI RAZLIČNIH
STAROSTI**

MAGISTRSKO DELO

**POWER AND DEXTERITY OF GRASPING IN CHILDREN OF
DIFFERENT AGES**

M. Sc. THESIS

Ljubljana, 2015

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete z dne 30. 3. 2015 je bilo potrjeno, da kandidat izpolnjuje pogoje za magistrski Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanja magisterija znanosti s področja biologije. Za mentorico je bila imenovana prof. dr. Barbara Bajd.

Komisija za oceno:

- Predsednica: doc. dr. Petra GOLJA
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: doc. dr. Gregor BELUŠIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: prof. dr. Roman KAMNIK
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Komisija za zagovor:

- Predsednica: prof. dr. Damjana DROBNE
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: doc. dr. Gregor BELUŠIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: prof. dr. Roman KAMNIK
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Datum zagovora: 19. 11. 2015

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Luka PRAPROTNIK



KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Md
DK UDK 572.5(043.2)=163.6
KG otroci/močnostni prijem/precizijski prijem/dominantnost roke/spol, telesni razvoj
AV PRAPROTNIK, Luka, univ. dipl. biolog
SA BAJD, Barbara (mentorica)
KZ SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij Bioloških in biotehniških znanosti
LI 2015
IN MOČ IN SPRETNOST PRIJEMA MED OTROKI RAZLIČNIH STAROSTI
TD Magistrsko delo
OP XI, 73 str. 15 pregl. 27 sl. 40 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI V raziskavi smo primerjali natančnost močnostnega in precizijskega prijema med zdravimi otroki različnih starosti. Primerjali smo 4, 6, 9 in 14 - letnike. Ugotavljali smo tudi, če obstaja razlika v natančnosti prijema med dominantno in nedominantno roko in med spoloma. Vzorec je obsegal 97 otrok: 26 štiriletnikov, 22 šestletnikov, 23 devetletnikov in 26 štirinajstletnikov. Od tega je 43 otrok moškega in 54 otrok ženskega spola. Meritve smo izvajali s posebnim računalniškim merilnim vmesnikom, ki pretvori silo prijema v električni signal, ki se beleži na zaslonu. Računalnik generira zeleni potek sile. Otroci so s pomočjo cilindričnega in ploščatega merilnega vmesnika sledili zelenemu poteku sile, ki se je izrisoval na zaslonu. Računalnik je za vsako meritev izračunal razliko med izmerjeno silo in zelenim potekom sile in tako podal napako sledenja, ki smo jo uporabili za vrednotenje natančnosti upravljanja s silo prijemanja. Izračunali smo povprečne vrednosti napak sledenja za vsako starostno skupino, glede na dominantnost roke in po spolu, ter jih primerjali med seboj. Ugotovili smo, da natančnost prijemanja s starostjo otrok statistično značilno narašča. Največji upad napake sledenja smo ugotovili med štiri in šestletniki in najmanjši upad med devet in štirinajstletniki. Nismo ugotovili statistično značilne razlike v napaki sledenja med dominantno in nedominantno roko in prav tako ne med osebami različnega spola.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Md
DC children/power grip/precision grip/hand dominance/gender/body development
CX UDK 572.5(043.2)=163.6
AU PRAPROTNIK, Luka
AA BAJD, Barbara (supervisor)
PP SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate study of Biological and biotechnological sciences
PY 2015
TI POWER AND DEXTERITY OF GRASPING IN CHILDREN OF DIFFERENT AGES
DT M. Sc. Thesis
NO XI, 73 p. 15 tab. 27 figl. 40 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In this research we assess the grip force control of power and precision grips in groups of healthy 4, 6, 9 and 14 year old children. We also assess if there are differences in the grip force control of dominant and non-dominant hands and any difference between sexes. The grip force control was assessed in a total of 97 test subjects: 26 four year old, 22 six year old, 23 nine year old and 26 fourteen year old children. Gender split was: 43 male and 54 female children. Grip force measurements was carried out using two specially designed measuring devices, that used pressure sensors connected to a computer to measure the applied grip force in real time. The test subject applied grip force to the input device according to visual feedback from a computer screen. The performance of the task was evaluated by measuring the tracking error between the target signal and the measured force. We calculate the average tracking error for each age group, for dominant and non-dominant hand and for both sexes to allow comparison between groups. The results prove our expectation that the tracking error significantly decreases with age. We assess any significant differences between the average tracking error for dominant and non-dominant hand, and between both sexes. The greatest decrease in tracking error is observed between four and six year old children and the smallest between nine and fourteen year old children.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Okrajšave in simboli	X
Slovarček	XI
1 UVOD	1
1.1 ROKA IN PRIJEMANJE	1
1.2 NAMEN RAZISKAVE	2
1.3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	4
2.1 BIOLOŠKI RAZVOJ ČLOVEKA	4
2.1.1 Razvoj možganov s poudarkom na razvoju motoričnih spretnosti	8
2.1.2 Gibalni razvoj	10
2.2 RAZLIKE MED SPOLOMA	11
2.3 RAZVOJ PREDNJIH OKONČIN (ROKE) ČLOVEKA	14
2.3.1 Anatomija palca	16
2.3.2 Razvoj palca	20
2.3.3 Razvoj prijemanja	22
2.3.3.1 Razvoj prijemanja v evoluciji (filogenija)	25
2.3.3.2 Razvoj prijemanja v razvoju posameznika (ontogenija)	26
2.4 DOSEDANJE RAZISKAVE PRIJEMANJA	28
3 MATERIAL IN METODE	30
3.1 MERJENE OSEBE	30
3.2 NAPRAVA ZA MERJENJE SILE PRIJEMANJA	30
3.3 NALOGE SLEDENJA	32
3.4 POSTOPEK	34
3.5 STATISTIČNA OBDELAVA	36
4 REZULTATI	36

4.1	VPLIV STAROSTI OTROK NA NATANČNOST MOČNOSTNEGA PRIJEMA ..	36
4.2	VPLIV STAROSTI OTROK NA NATANČNOST PRECIZIJSKEGA PRIJEMA...	43
4.3	VPLIV DOMINANTNOSTI ROKE NA NATANČNOST PRIJEMOV	49
4.4	VPLIV SPOLA NA NATANČNOST PRIJEMOV	50
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	58
6	POVZETEK.....	63
7	SUMMARY	66
8	VIRI.....	69
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Pregl. 1: Vzorec uporabljen v raziskavi.....	30
Pregl. 2: Plan dela.....	35
Pregl. 3: Levenov test homogenosti varianc za močnostni prijem	39
Pregl. 4: Welchov test enakosti srednjih vrednosti rrmse za močnostni prijem	40
Pregl. 5: Srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za močnostni prijem.....	40
Pregl. 6: Preizkus mnogoterih primerjav statistične pomembnosti razlik v napaki močnostnega prijema glede na starost.....	42
Pregl. 7: Levenov test homogenosti varianc za precizijski prijem	45
Pregl. 8: Welchov test enakosti srednjih vrednosti rrmse za precizijski prijem.....	46
Pregl. 9: Srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za precizijski prijem.....	46
Pregl. 10: Preizkus mnogoterih primerjav statistične pomembnosti razlik v napaki precizijskega prijema glede na starost.....	48
Pregl. 11: Rezultati statistične analize primerjave napak prijemanja med dominantno in nedominantno roko.....	49
Pregl. 12: Rezultati statistične analize primerjave napak prijemanja med spoloma za štiriletnike.....	51
Pregl. 13: Rezultati statistične analize primerjave napak prijemanja med spoloma za šestletnike.....	53
Pregl. 14: Rezultati statistične analize primerjave napak prijemanja med spoloma za devetletnike.....	55
Pregl. 15: Rezultati statistične analize primerjave napak prijemanja med spoloma za štirinajstletnike.....	57

KAZALO SLIK

	str.
Sl. 1: Dlan in zapestje 15 letnih dečkov skeletne starosti 12,6 (levo) in 15,6 let (desno).....	7
Sl. 2: Prirastek telesne višine v cm na leto (hitrost rasti) pri tipičnem dečku in tipični deklici.....	12
Sl. 3: Razvoj prednje okončine med 5. in 8. tednom.....	14
Sl. 4: Razvoj zarodka – 5 do 8 tednov.....	15
Sl.5: Sedlasti tip sklepa palca (karpometakarpalni sklep).....	16
Sl. 6: Kostni palca.....	17
Sl. 7a: Mišice, ki nadzorujejo premikanje palca in izhajajo iz podlakti.....	18
Sl. 7b: Mišice, ki nadzorujejo premikanje palca in izhajajo iz dlani.....	19
Sl. 8: Primerjava krivine prstnic palca (zgoraj), dolžine končne prstnice palca (sredina) in dolžine palca (spodaj) pri gorili, hominidu iz Olduvai-a in modernem človeku.....	21
Sl. 9: Močnostni in precizijski prijem.....	23
Sl. 10: Delitev prijemov glede na obliko in velikost predmetov	24
Sl. 11: Razvoj prijema (20 – 32 tednov).....	26
Sl. 12: Razvoj prijema (28 – 40 tednov).....	27
Sl. 13: Razvoj prijema (44 – 52 tednov).....	27
Sl. 14: Naprava za merjenje sile prijema: vmesnik za močnostni prijem, vmesnik za precizijski prijem in elektronski vmesnik za ojačenje, pretvorbo in posredovanje signalov.....	31
Sl. 15: Shema sistema za ocenjevanje prijemanja z metodo sledenja sile prijema.....	32
Sl. 16: Merjena oseba za računalnikom z merilnim telesom v roki.....	33
Sl. 17: Prikaz sile prijema pri testu maksimalne vrednosti in časovni potek zelene sile treh oblik.....	34

Sl. 18: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sile signala naključne rampe.....	37
Sl. 19: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sinusnega signala.....	38
Sl. 20: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sile naključnega pravokotnega signala.....	39
Sl. 21: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek signala naključne rampe.....	43
Sl. 22: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek sinusnega signala.....	44
Sl. 23: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek naključnega pravokotnega signala.....	45
Sl. 24: Primerjava napak prijemanja med spoloma za štiriletnike za vse poteke želenih sil obeh prijemov.....	52
Sl. 25: Primerjava napak prijemanja med spoloma za šestletnike za vse poteke želenih sil obeh prijemov.....	54
Sl. 26: Primerjava napak prijemanja med spoloma za devetletnike za vse poteke želenih sil obeh prijemov.....	56
Sl. 27: Primerjava napak prijemanja med spoloma za štirinajstletnike za vse poteke želenih sil obeh prijemov.....	58

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

oznaka	pomen
GH	rastni hormon (Growth Hormone) = somatotropin – izloča ga hipofiza
GF	rastni faktorji (Growth Factors)
rrmse	relativna povprečna kvadratična napaka (Relative Root Mean Square Error)
F_0	izmerjena sila
F_T	želena sila
T	čas trajanja celotnega poskusa
t	čas
SD	standardni odklon (Standard Deviation)
df	stopnja prostosti
P	verjetnost statističnega tveganja
M	povprečna vrednost

SLOVARČEK

termin	pomen
longitudinalna rast	rast v višino
falanga	prstnica
metakarpalka	dlančnica
oponibilen	nasproti ležeč
hominidi	človek in človeku podobne opice
manipulacija	rokovanje (<i>manus</i> = roka)
precizijski	natančnostni
cilindrični	valjni
lateralni	stranski

1 UVOD

1.1 ROKA IN PRIJEMANJE

Rast je ena od značilnosti telesnega razvoja posameznika. Najbolj opazna in značilna rast je rast v višino, tj. longitudinalna rast. Najhitreje poteka v fetalnem razvoju. Pri embriju so za morfogenezo odgovorni rast, migracije in odmiranje celic. Najhitrejša rast se pojavi okoli 20. tedna in okoli 34. tedna se začne večati telesna masa. Telesna rast je v obdobju odraščanja izredno hitra, pravimo, da je pospešena. Pri otrocih se pojavljajo variacije med otroki istega spola, najznačilnejše pa so tiste, ki nastanejo med obema spoloma (med moškimi in ženskami). Dekleta začnejo hitro rasti med desetim in enajstim letom in najhitreje rastejo med dvanajstim in trinajstim letom. Pri fantih se pospešena rast začne leto do dve kasneje. V zgodnjem otroštvu so deklice običajno nižje od fantov, kar se sčasoma spremeni zaradi predpubertetne rasti (9 cm/leto) okoli desetega leta. Fantje dekleta nato dohitijo okoli štirinajstega leta, saj začnejo hitreje rasti pri dvanajstih letih (10,3 cm/leto). Rast v višino in širino je posledica delovanja hormonov. Rastejo vsi deli telesa, čeprav ne istočasno in ne enakomerno. Ker začnejo najprej rasti okončine, so nekateri najstniki videti, kot bi jih bile same roke in noge. Marsikateri mladostnik se zdi sam sebi neroden in neusklajenih gibov (Tacol, 2007).

Roka je človekovo najpomembnejše orodje. Razvoj roke sega v evoluciji vretenčarjev daleč nazaj, vse do prehoda iz vode na kopno. Naš zgodnji prednik, riba imenovana *Rhipidistia*, je izumrla že 230 milijonov let nazaj. Te ribe so bile prednice vseh tetrapodov (sesalci, ptiči, plazilci in ribe) (Ahlberg in Clack, 2006). Njena prsna plavut, ki je začetek razvoja naše roke, ima 5 prstov. Štirje prsti imajo po 3 prstnice (falange) in en palec, ki ima 2 prstnici. Od tega trenutka v razvoju imajo skoraj vsi sesalci, plazilci in dvoživke po 2 prstnici v palcu. Pri redkih izjemah so prisotne 3 prstnice, vendar si raziskovalci niso enotni ali so vse tri res prstnice ali gre za eno dlančnico (metakarpalko) (Flatt, 2002). Roka omogoča prijemanje in rokovanje z najrazličnejšimi predmeti. To ima, zlasti v povezavi z možgani, za človeka velik pomen, tako v evoluciji, kot tudi v individualnem razvoju

posameznika. Roka se je tako razvila v izjemno orodje. Vsestranskost roke omogočajo predvsem zelo gibljivi sklepi v roki, kjer se palec in drugi prsti lahko premikajo neodvisno. Človeški palec je, tako kot pri ostalih primatih, oponibilen (nasproten) konicam ostalih prstov, lahko ga zložimo v dlan ali zraven ostalih prstov in ga lahko zavrtimo za 90° v karpometakarpalnem sklepu. Vse to omogoča natančne in zapletene prijeme predmetov vsemogočih oblik, tako da jih pritisne ob ostale prste ali ob dlan. Morda celo smemo trditi, da je prijemanje najpomembnejša oblika gibanja pri človeku. Prijem je definiran kot uporaba ustrezne sile roke na objekt, z namenom opraviti določeno nalogo znotraj določenih omejitev (Kurillo in sod., 2007). Prijeme lahko v grobem delimo na močnostne in precizijske. Za močnostne prijeme so značilne večje sile, dobra stabilnost prijema in velika površina stika med roko in predmetom. Za precizijske prijeme so značilne manjše sile prijemanja, večja natančnost manipulacije in manjša površina stika roke s predmetom (Kurillo in sod., 2007 in Edwards in sod., 2002). Pomembno čutilo, ki vpliva na prijemanje, je tip, s katerim zaznavamo silo prstov in dlani na predmet, ki ga prijemamo. To silo uravnavajo mišice roke, ki jih ves čas nadzorujejo ustrezni centri v možganih. Možgani dobivajo dinamično povratno informacijo vida in proprioreceptorjev v mišicah in tetivah, ter tako prilagajajo silo prstov na predmet (Forssberg in sod., 1991 in Gordon in sod., 1992). Pri 20 tednih starosti so otroci že sposobni prvih refleksnih prijmov, pri 24 tednih so sposobni grobih, neobdelanih, a že hotenih stiskov, vendar brez uporabe palca. Objekt v dlani je lociran na podlahtnični (ulnarni) strani dlani. Pri 28 tednih palec še vedno ni vključen v prijem, objekt v dlani pa je lociran na sredini dlani (MacKenzie in Iberall, 1994). Pri 32 tednih se objekt v dlani že premakne proti koželjnični (radialni) strani, kjer že sodeluje palec, ki potiska objekt v dlan (Edwards in sod., 2002), kar je osnova za razvoj precizijskega prijema, ki se pri otrocih razvije v 10. mesecu (40 tednov) (Forssberg in sod., 1991 in Gordon in sod., 1992). Motorične spretnosti posameznika, in s tem tudi natančnost prijmov, s starostjo in izkušnjami naraščajo vse do odrasle dobe.

1.2 NAMEN RAZISKAVE

Namen naše raziskave je ovrednotiti natančnost upravljanja s silo prijemanja za močnostni in precizijski prijem pri otrocih različnih starosti s pomočjo vidne povratne informacije in

tako slediti gibalnemu razvoju otroka s starostjo. Dosedanje raziskave so namreč ugotavljale, kako vpliva starost pri odraslih na natančnost prijemanja, ali kakšne so razlike v natančnosti prijemanja med otroki in odraslimi, niso pa ugotavljali, kako se s starostjo otrok spreminja natančnost prijemanja.

Na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani so razvili poseben merilni vmesnik, ki omogoča takšno vrednotenje v povezavi z osebnim računalnikom. Računalnik generira in riše potek želene sile prijema na zaslonu, ki ji mora otrok, z apliciranjem sile na vmesnik slediti. Merili smo sposobnost sledenja poteku sile s cilindričnim vmesnikom in s ploščatim vmesnikom. Računalnik je izračunal relativno povprečno napako sledenja. Manjša kot je napaka, večja je natančnost prijema. Tako smo primerjali natančnost prijemov štirih starostnih skupin otrok: štiriletnikov, šestletnikov, devetletnikov in štirinajstletnikov. Otroci so sledili trem različnim signalom, ki jih je generiral računalnik in sicer: sinusni signal, signal naključne rampe in naključni pravokotni signal. Sinusni signal enakomerno narašča in pojema, torej zahteva enakomerno večanje in manjšanje sile prijema. Signal naključne rampe se počasi dviguje in nato vztraja na določeni amplitudi, torej zahteva enakomerno naraščanje sile prijema in nato vztrajanje pri določeni sili, dokler se ta zopet ne spremeni. Naključni pravokotni signal naraste oz. pade v trenutku, torej zahteva hitro reakcijo prilagajanja sile prijema. Vse tri naloge so otroci opravili za obe vrsti prijemov: močnostnega (s cilindričnim vmesnikom) in precizijskega (s ploščatim vmesnikom). Na začetku vrednotenja vsakega prijema je otrok opravil preizkus maksimalne sile prijema, s katerim je računalnik prilagodil maksimalno silo, ki je potrebna za izvedbo vsake naloge. Ta sila je nastavljena na 30 % vrednosti izmerjene pri preizkusu maksimalne sile posameznega otroka (Kurillo in sod., 2005). Otrok je opravljal naloge najprej z dominantno in nato z nedominantno roko.

1.3 RAZISKOVALNE HIPOTEZE

H1) Natančnost močnostnega prijema s starostjo otrok narašča. Predvidevamo, da velikost napake sledenja pri močnostnem prijemu s starostjo otrok upada, torej narašča natančnost močnostnega prijema.

H2) Natančnost precizijskega prijema s starostjo otrok narašča. Predvidevamo, da velikost napake sledenja pri precizijskem prijemu s starostjo otrok upada, torej narašča natančnost precizijskega prijema.

H3) Natančnost prijemov je večja pri dominantnih rokah. Merjene osebe so naloge opravljale z dominantno in z nedominantno roko. Predvidevamo, da je velikost napake sledenja pri dominantni roki manjša kot pri nedominantni, torej je natančnost prijema dominantne roke večja kot nedominantne.

H4) Natančnost prijemov ni odvisna od spola. Predvidevamo, da je velikost napake sledenja pri merjenih osebah moškega spola enaka kot pri merjenih osebah ženskega spola, torej je natančnost prijema oseb različnega spola pri enaki starosti enaka.

2 PREGLED OBJAV

2.1 BIOLOŠKI RAZVOJ ČLOVEKA

Odraščanje je proces spreminjanja človeka, ki vključuje rast in zorenje. Je proces pri katerem gre tako za kvantitativne, kot za kvalitativne spremembe, ki se dogajajo od spočetja do polne biološke zrelosti. V ožjem biološkem smislu rast pomeni delitev in rast celic (kvantitativne spremembe), ter njihovo diferenciacijo (kvalitativne spremembe), ko se spreminja njihova funkcija. Rast človeka je torej proces celičnih delitev, njihovo povečevanje in diferenciacija. Tako se povečuje velikost posameznih organov (organe tvorijo specializirane celice, zato je potrebna diferenciacija celic), velikost posameznih delov telesa in seveda končno tudi velikost celega telesa. Zorenje pa je proces kakovostnih sprememb, ki posamezniku omogočajo vedno boljše delovanje. Zorenje je proces, ki je odvisen od dednosti in od okolja. Zaporedje teh sprememb je pri večini ljudi približno enako, kdaj nastopijo kakšne spremembe, pa je individualno zelo različno. Otrok z izkušnjami in svoji razvojni starosti primerno razvija svoje kognitivne, motorične in

socialne spretnosti. V procesu zorenja se, kot vsako živo bitje, tudi človek prilagaja okolju. Okolje za človeka poleg fizičnega okolja pomeni tudi socialno okolje, katerega spremembam je podvržen.

Zelo pomemben del biološkega razvoja je gibalni (motorični) razvoj. Telesna masa človeka od rojstva do odrasle dobe se poveča za več kot dvajsetkrat. Pri tem se povečujejo seveda tudi vsi organski sistemi, vendar ne vsi enakomerno in ne vsi enakokrat. Mišičje se razvija hitreje kot živčevje. Živčevje ob rojstvu omogoča nekatere reflekse, ki omogočajo hranjenje in preproste odzive na okolje, in le grobe, slabo koordinirane gibe. Z razvojem se sposobnost izvajanja zapletenejših gibov povečuje (Škof, 2007).

Obdobje od rojstva do odraslosti lahko razdelimo na 4 razvojna obdobja (Tomazo-Ravnik, 2004):

- Obdobje dojenčka in malčka: traja približno prvi dve leti in pol življenja (do končanega prodora mlečnega zobovja); značilna je zelo hitra telesna rast.
- Zgodnje otroštvo: traja približno do šestega leta (do prodora prvega stalnega zoba); rast se umiri in začne se hiter razvoj živčnega sistema, ki omogoči razvoj gibalnih spretnosti.
- Srednje do pozno otroštvo: traja približno do desetega leta (pri dekletih) oz. do dvanajstega leta (pri dečkih). Značilna je umirjena rast in pojavijo se prvi znaki spolne diferenciacije.
- Mladostništvo: traja približno do šestnajstega leta pri dekletih in do osemnajstega leta pri dečkih. V tem obdobju pride do polnega razvoja vseh telesnih sistemov.

Obdobje mladostništva lahko razdelimo še na dva dela:

- Predpuberteta: traja približno dve leti in
- Puberteta: traja do konca mladostništva.

Za obdobje pubertete je značilna hitra telesna rast (pubertetni sunek rasti) in razvoj sekundarnih spolnih znakov (Škof, 2007). Puberteta se pri posameznikih začne pri različnih starostih. Te razlike v stopnji razvoja posameznikov pri enaki starosti se ne

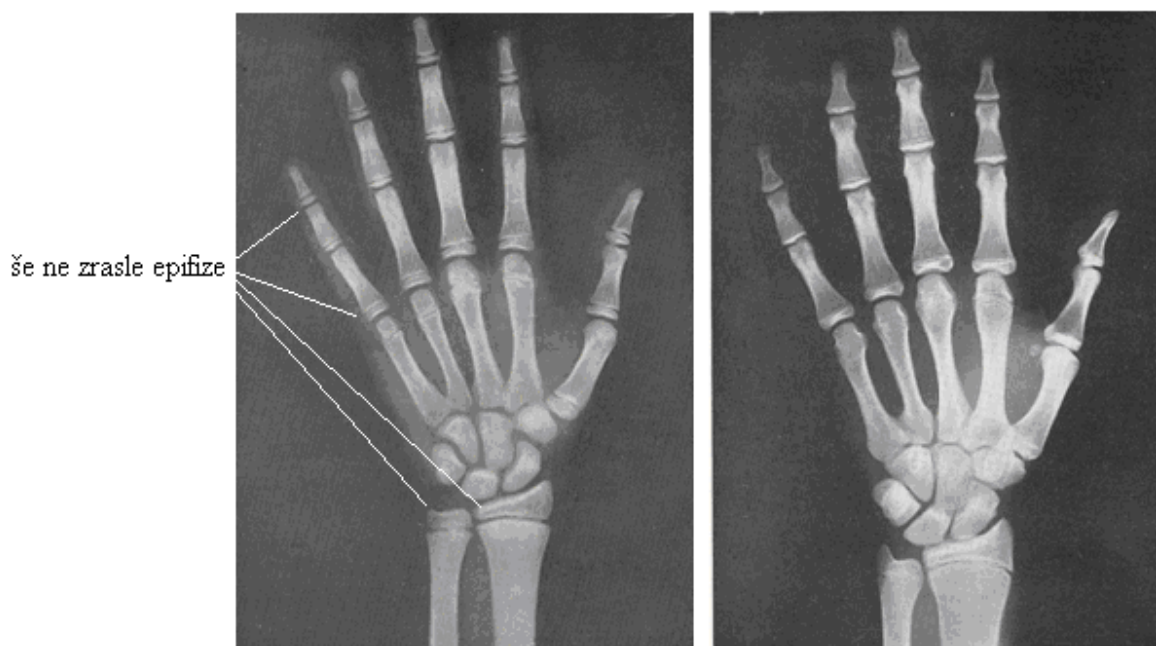
pojavijo šele pri vstopu v puberteto, prisotne so pri vseh starostih, celo že ob rojstvu, vendar niso tako očitne kot v puberteti.

Raziskave so pokazale, da se otroci, ki so fizično bolj razviti od vrstnikov (višja stopnja zrelosti pri določeni starosti), bolje odrežejo tudi na različnih psiholoških testih. Od šestega leta dalje fizično večji otroci dosegajo boljše rezultate na psiholoških testih kot njihovi manjši vrstniki (Tanner, 1978).

Rast uravnava rastni hormon (GH) (somatotropin), rastni faktorji (GF) in tiroksin (hormon ščitnice). GH izloča hipofiza in se ne izloča enakomerno skozi vse obdobje. Največ se ga izloča ponoči med spanjem, zlasti v prvem delu noči. Na njegovo izločanje vplivajo tudi številni drugi dejavniki, kot so telesna aktivnost, stres, koncentracija glukoze v krvi. Debelost negativno vpliva na izločanje GH. Maščobno tkivo vpliva na znižanje frekvence izločanja in trajanje izločanja hormona. Razlike v celodnevni koncentraciji in v vzorcu izločanja GH obstajajo tudi med spoloma (Škof, 2007). Razlike med spoloma v izločanju GH pa se kažejo tudi na daljši rok.

Telesna višina ni primerno merilo za doseženo stopnjo zrelosti pri določeni starosti, zlasti ker smo ljudje tudi v zrelem obdobju različno veliki. Primernejši metodi za ugotavljanje hitrosti in stopnje razvoja sta število že izraslih zob in vsebnost vode v mišičnih celicah. Pomemben podatek je tudi skeletna starost (zrelost skeleta), ki je ne ugotavljamo le z velikostjo posameznih kosti, temveč predvsem z obliko in z relativnim položajem posameznih kosti glede na druge kosti v skeletu (Tanner, 1978). Vsaka kost se namreč začne oblikovati v primarnem pokostenitvenem jedru in sledi razvoju preko posameznih stopenj do končne oblike in položaja, ki ustreza zrelemu skeletu. Vsaka dolga kost ima na sredini cevasto deblo (diafizo) in na vsakem koncu okrajek (epifizo). Dokler kost še raste in se razvija, je med diafizo in obema epifizama rastni hrustanec (Strgar, 2002). Rast in preoblikovanje kosti se zaključi, ko se epifize združijo in se hrustanec popolnoma nadomesti s kostjo. Teoretično bi za namen določanja razvojne starosti organizma lahko uporabljali katerokoli kost v telesu, v praksi pa se največ uporablja kosti dlani in zapestja. Na sliki 1 vidimo rentgenska posnetka dveh petnajst let starih dečkov. Na levi sliki je ugotovljena skeletna starost 12,6 leta in na desni 15,6 leta. Na levi sliki vidimo še ne zrasle

epifize prstnic, podlaktnice in koželjnice, tudi zapestne koščice še niso dokončno oblikovane. Na desni sliki so epifize prstnic že zrasle, epifizi podlaktnice in koželjnice pa sta skoraj že zrasli in tudi zapestnice so bolj izoblikovane (Tanner, 1978).



Slika 1: Dlan in zapestje petnajst letnih dečkov skeletne starosti 12,6 (levo) in 15,6 let (desno) (vir: <http://www.theirhistory.co.uk/70001/info.php?p=7&pno=0>)

Poznamo dve metodi določanja skeletne zrelosti glede na razvoj dlani in zapestja: Greulich – Pylova metoda in Tanner – Whitehousova metoda. Po prvi metodi primerjamo vsako kost rentgenskega posnetka s standardiziranimi posnetki določenih starosti. Glede na standardne posnetke vsaki kosti določimo starost. Modus (najpogostejša vrednost) dobljenih vrednosti vseh kosti preiskovane dlani in zapestja je skeletna starost osebk. Po drugi metodi vsako kost rangiramo po standardnih vrednostih (8 stopenj). Te vrednosti so matematično urejene tako, da njihova vsota predstavlja zrelost skeleta. Dlan in zapestje sta uporabna za določanje skeletne zrelosti le od starosti 18 mesecev naprej, pred to starostjo za določanje raje uporabljajo noge in stopala. Tudi ni vedno potrebno ovrednotiti vsako kost v dlani in zapestju. Za predvidevanje končne telesne višine posameznika so dovolj kosti podlakti in prstnice (Tanner, 1978).

Delež mišične mase se v biološkem razvoju povečuje. Ob rojstvu mišično tkivo predstavlja okrog 25 % telesne mase, pri odraslem moškem pa je ta delež okrog 50 % (pri ženski okrog 40 %). S starostjo se ne le povečuje mišična masa, ampak se tudi spreminja kemična struktura mišice, od česar so odvisne njene kontraktilne značilnosti. Zmanjšuje se količina vode v mišični celici in povečuje vsebnost mišičnih proteinov. Mišična celica otroka ima manjše zaloge ATP kot odrasla mišična celica. Mišica tako v obdobju odraščanja s starostjo pridobiva na moči in učinkovitosti (Škof, 2007).

2.1.1 Razvoj možganov s poudarkom na razvoju motoričnih spretnosti

Obdobja razvoja možganov in ostalega živčevja sovpadajo z obdobji motoričnega razvoja otroka (Škof, 2007). Možgani človeka se oblikujejo že pred rojstvom. Dozorevanje možganov traja tudi več kot dvajset let. Rast in razvoj možganov nista enakomerna procesa. V možganski skorji se najprej razvije primarno motorično področje in temu sledi senzorično področje. Časovno lahko razvoj možganov razdelimo na štiri glavne faze: razvoj pred rojstvom, razvoj v prvih petih letih razvoja, razvoj v obdobju petih do desetih let in razvoj v obdobju desetih do dvajsetih let (Blows, 2003).

Pred rojstvom se nevralna cev formira v možgane in hrbtenjačo. Z delitvijo nastajajo nove živčne celice s hitrostjo 250.000 celic na minuto. Ob rojstvu imajo možgani 200 milijard celic. Celice nastajajo v notranjih slojih možganov (proti lumnu ventrikularnega sistema), nato pa migrirajo na svoje mesto v možganih. Pri tem lahko pride do napak, ki zaradi napačnih povezav vodijo do različnih težav (npr. shizofrenija). V tem času pride tudi do spolnega dimorfizma možganov. To je odvisno od genetske dispozicije in od izpostavljenosti hormonom (androgenom in estrogenom). Večja izpostavljenost možganov androgenom pri moških vodi do večjih pre-optičnih centrov hipotalamusa kot pri ženskah. Možgani pri ženskah (izpostavljenost estrogenu) imajo v povprečju večjo koncentracijo nevronov v področjih za komunikacijo, spomin in sluh. Možgani pri moških so v povprečju sposobni boljše orientacije v prostoru (navigacija), boljšega matematičnega razumevanja, boljšega predvidevanja pozicije gibajočega predmeta v prostoru. Ženske v povprečju zato hitreje prepoznajo predmete, so hitreje pri aritmetičnem računanju, bolje nadzorujejo natančne gibe rok (različna ročna dela) in uravnavajo bolj tekoči govor.

Včasih se spolna orientiranost možganov ne sklada s spolom osebkov in kasneje v razvoju otroka nastopi kriza identitete spola (Blows, 2003).

Obdobje prvih petih let razvoja po rojstvu je obdobje hitre fizične rasti. To nakazuje tudi velike spremembe v možganih. Ob rojstvu je najbolj razvit del možganov možgansko deblo (glavni refleksi, ki zagotavljajo preživetje organizma) in najmanj možganska skorja. V prvem letu in še kasneje se mielinizira motorični sistem, kar omogoča vedno boljše motorične spretnosti. Te spretnosti so zelo odvisne tudi od vaje, ki preko senzorične povratne zveze stimulira razvoj teh centrov. Nove in nove sinaptične povezave se začnejo ustvarjati (in tudi izginjati) že pred rojstvom in se nadaljujejo v odraslo dobo. Število sinaps je največje v drugem letu starosti. S pridobivanjem novih izkušenj se utrjujejo določene povezave in določene izginjajo, zato je bogastvo raznovrstnih izkušenj (igra) že v prvih letih po rojstvu zelo pomembno za razvoj motoričnih in drugih spretnosti (Blows, 2003). Za razvoj gibalne učinkovitosti so zelo koristne zgodnje izkušnje (Rosenzweig, 1984). Za razvoj motorike je zelo pomembna tudi razvitost malih možganov (cerebellum), zlasti za ravnotežje in usklajenost gibov. V tem obdobju se postopno začne razvijati sposobnost koordinacije gibov rok z vidom, t. j. vidno čutilna povratna zveza (vizualno senzorični feedback) (Blows, 2003).

Do začetka tretjega obdobja (od pet do deset let) razvoja možganov je ustvarjenih že večina sinaptičnih povezav, ki pa se morajo v tem obdobju utrditi. Motorični razvoj se nadaljuje in razvijajo se vedno bolj fini gibi. Pospešeno se razvijajo novi in novi motorični »programi« (npr. pisanje, vožnja s kolesom, smučanje) (Blows, 2003).

V zadnjem obdobju razvoja možganov (deset do dvajset let) se kot zadnji dokončno razvije čelni (frontalni) režanj, ki se šele tedaj dokončno mielinizira. Izboljšajo se kognitivne sposobnosti in sposobnosti empatije. Z leti se povečuje hitrost procesiranja informacij. Ker je poleg asociacijske skorje v čelnem režnju tudi področje za načrtovanje gibov (premotorično in suplementarno področje – najvišja raven motorične hierarhije) in ukaze za skeletne mišice, se temu primerno izboljšuje tudi motorika (Blows, 2003 in Škof, 2007).

2.1.2 Gibalni razvoj

Gibalna učinkovitost je odvisna od usvojenega gibanja (vaja, trening) in od gibalne sposobnosti (razvoj ustrezne mišične sile, hitrosti) glede na genetsko predispozicijo in starost organizma (Škof, 2007). Gibalni razvoj človeka lahko kronološko razdelimo v 4 stopnje (Gallahue in Ozmun, 1998):

- Refleksna gibalna stopnja (do prvega leta)
- Začetna zavestna gibalna stopnja (od prvega do drugega leta)
- Temeljna gibalna stopnja (od drugega do sedmega leta)
- Stopnja specializacije gibanja (od sedmega leta naprej)

Prvi gibi novorojenčka so nekoordinirani, refleksni. V prvem letu starosti se hitro razvija možganska skorja, ki postopno inhibira refleksne gibe možganskega debla in tako vedno bolj v ospredje stopa zavestna kontrola gibanja. Gibanje postaja usmerjeno in zavestno. Otrok vzpostavlja nadzor nad telesom in prijemanjem. Začne dvigovati glavo, prijemati predmete, se opirati na roke, plaziti, gibati se po vseh štirih, vse do prvih korakov približno pri enem letu.

V drugem letu pride do pospešenega razvoja kognitivnih sposobnosti in s tem se pojavi tudi vse boljša kontrola gibanja. Izboljša se ravnotežje in razvijajo se enostavni gibalni vzorci, kot sta hoja in kasneje tek.

Po drugem letu starosti, v predšolskem obdobju, se začne obdobje eksperimentiranja v gibanju. Gibanje postaja vse bolj koordinirano in ritmično. Pri 3 do 4 letih že obvladajo različne sestavljene gibalne vzorce kot so skok, metanje predmeta in lovljenje predmeta. Proti sedmem letu starosti (zaključek temeljne gibalne stopnje) postaja gibanje otrok mehansko vedno bolj učinkovito in koordinirano. Sposobni so že enostavnejših gibalnih spretnosti, kot so smučanje, borilne veščine in različni meti. V tem obdobju je zelo pomembno stimulatívno ožje bivalno okolje (družina in šola).

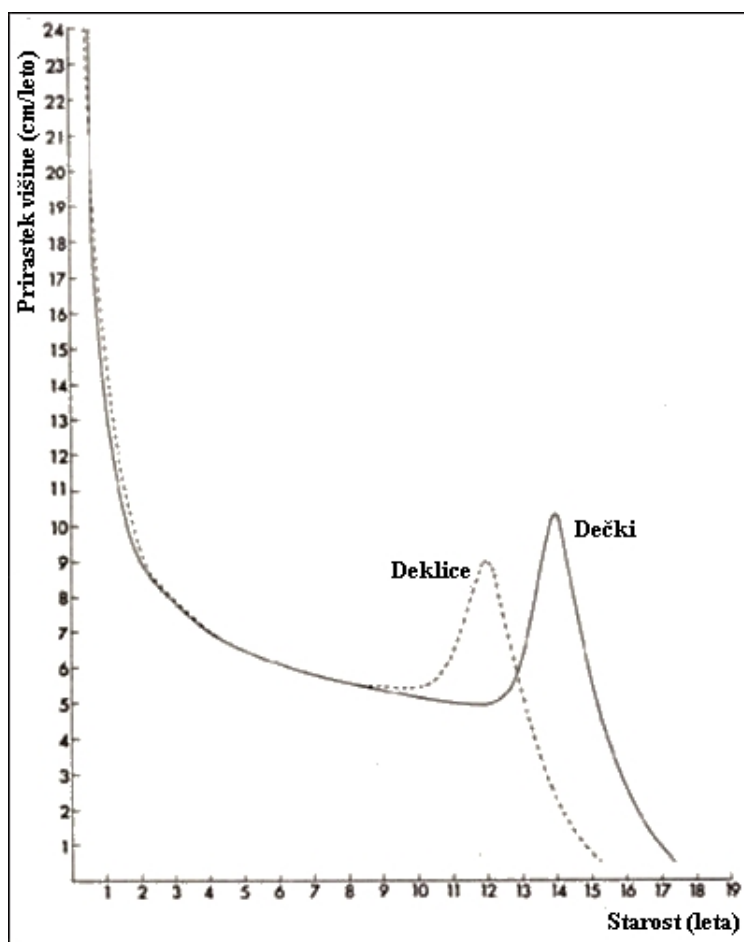
Po sedmem letu starosti se začne obdobje specializacije gibanja. V začetnem obdobju (do desetih let) začne otrok povezovati enostavne gibalne spretnosti v kompleksnejša gibanja. Gibanje otrok uporablja v vsakdanjem življenju in športu. Gibanje postaja vse bolj natančno, lahkotno in učinkovito pri vsakodnevnih opravilih. To je obdobje upočasnjene telesne rasti, kar omogoča zelo natančno sinhronizacijo živčno-mišičnega sistema. Posledično se razvijejo gibalne sposobnosti, pri katerih je pomembna velika natančnost. Razvija se prostorska orientacija. Obdobje od 11. do 15. leta starosti, je obdobje prilagajanja. Zaradi hitre in neenakomerne rasti se dinamika razvoja gibalnih sposobnosti upočasni. Možgani potrebujejo nekaj časa, da se prilagodijo spremembam na »periferiji« telesa (spremembe dolžine kosti). Po 15. letu starosti se zaradi hormonskih vplivov poveča mišična moč in vzdržljivost (Škof, 2007 in Gallahue in Ozmun, 1998).

2.2 RAZLIKE MED SPOLOMA

Mnogo kvantitativnih razlik med spoloma je mogoče slediti že v prenatalno obdobje. Na primer dolžina podlakti je v primerjavi z nadlaktjo ali s celotno višino telesa pri povprečnem moškem večja kot pri povprečni ženski. Ta trend se začne že pred rojstvom in se nadaljuje celo rastno obdobje. Podobno je s kazalcem in prstancem. Kazalec je pri ženskah pogosteje daljši od prstanca kot pri moških. Tudi to razliko je opaziti že ob rojstvu. Razlike so tudi v relativnih proporcijah mišičja, maščevja in kosti.

Pubertetna pospešena rast se začne pri deklicah okrog desetega leta in pri dečkih približno dve leti kasneje. V tem obdobju se hitrost rasti najbolj približa hitrosti rasti v prvih dveh letih življenja. Dečki imajo prirastek telesne višine med 8 in 10 cm na leto, dekleta pa 3 do 5 cm nižji. To prinese povprečno 12,5 cm razliko v višini obeh spolov v odrasli dobi (Tanner, 1978). Dečki najhitreje rastejo v drugi polovici pubertete, deklice pa v prvi polovici, do nastopa prve menstruacije. V tem času razvoja se pomembno spreminjajo tudi telesna razmerja (proporci). Okončine so ob vstopu v puberteto nesorazmerno daljše v primerjavi s trupom. Ta nesorazmerja se tekom pubertete izravnajo. Pri dečkih se povečuje širina ramen, pri dekletih pa širina bokov (Škof, 2007). Od rojstva do pubertete se razlike med spoloma povečujejo, tako fizične kot tudi psihične. Deklice odraščajo hitreje od

dečkov in dosežejo 50 % svoje odrasle velikosti prej kot dečki, prej vstopijo v puberteto in jo tudi prej zaključijo. Razlike v stopnji rasti se začnejo že zelo zgodaj. Že na polovici fetalnega razvoja skelet ženskega zarodka za tri tedne prehitava razvoj skeleta moškega zarodka, ob rojstvu štiri do šest tednov in ob začetku pubertete do dve leti. Iz slike 2 je razvidno, da deklice v puberteti dve leti prej začno s pospešeno rastjo kot dečki, prej dosežejo maksimalno hitrost rasti in rast tudi prej zaključijo. Deklice so fiziološko bolj razvite tudi pri razvoju nekaterih drugih organov, kar je verjetno vzrok za večje preživetje deklic ob rojstvu. Tudi stalni zobje začnejo izraščati prej pri deklicah (11 mesecev prej pri podočnikih in le 2 meseca pri prvih molarjih) kot pri dečkih. Razlike so tudi v začetku pokostenevanja nekaterih delov skeleta, zlasti v komolcu. Zgodnejše odraščanje osebkov ženskega spola je skupno mnogim vrstam sesalcev in vsem do sedaj raziskanim primatom.



Slika 2: Prirastek telesne višine v cm na leto (hitrost rasti) pri tipičnem dečku in tipični deklici (Tanner, 1978)

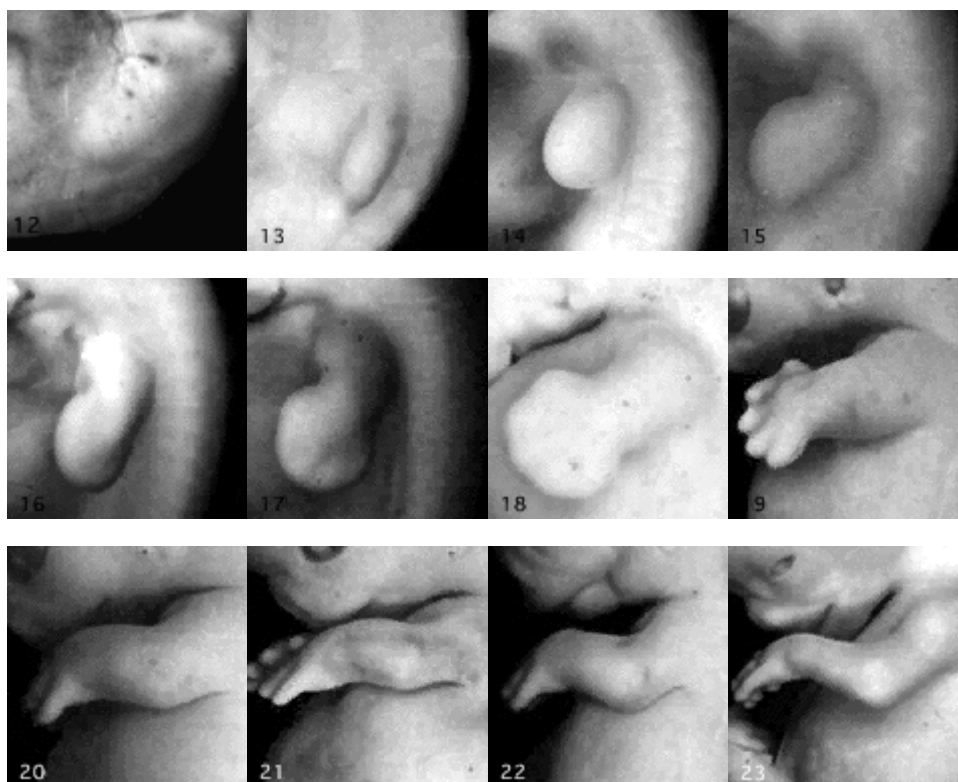
Rastni sunek v puberteti močno poveča seksualni dimorfizem. Če so dečki pred puberteto le malo večji od deklet, se ta razlika po puberteti močno poveča (na okrog 13 cm). Ta rastni sunek je verjetno pod drugačnim vplivom hormonov kot rast v obdobju pred tem sunkom, posledica česar je precejšnja nepovezanost intenzivnosti rastnega sunka in dosežene višine pred njim. Tudi telesni proporci s puberteto postajajo vedno bolj moški oz. ženski. Mišice in ramenski obroč se hitreje večajo pri moških kot pri ženskah, pri katerih se hitreje povečujejo boki in maščevje. Te spremembe so posledica večje odzivnosti hrustančnih celic na boku na ženske spolne hormone (estrogen) in večje odzivnosti ramenskih hrustančnih celic na moške spolne hormone (testosteron). Pojavijo se velike razlike v moči kot tudi druge fiziološke razlike. Dečkom se razvije večje srce, večja pljuča, večje in močnejše skeletne mišice, višji sistolični krvni tlak, nižji srčni utrip v mirovanju, več hemoglobina v krvi. Večino rasti v višino v času pubertetnega rastnega sunka prispeva rast trupa in precej manj rast nog. Tako se hitreje ustavi rast nog in rok, ker te prej dosežejo končno velikost kot trup. Še posebej deklice se v tem obdobju pritožujejo nad velikostjo stopal in dlani, ki se kasneje, ko je pubertetni rastni sunek zaključen, v primerjavi z velikostjo telesa na pogled »zmanjšajo«. Dečki pa hitreje nehajo preraščati hlače kot majice in jopice. Vse skeletne in mišične dimenzije sodelujejo v tem ravnem sunku, vendar v različnih stopnjah. Obraz v tem obdobju zaznamujejo precejšnje spremembe. Čelo postaja bolj izrazito zaradi rasti očesnih lokov in sinusov za njimi, tudi obe čeljusti izraščata naprej (spodnja hitreje kot zgornja). Istočasno se razvijajo tudi obrazne mišice. Te spremembe obraza so veliko bolj intenzivne pri dečkih kot pri deklicah, kjer so spremembe včasih celo komaj opazne (Tanner, 1978).

V času pubertete se spreminja tudi sestava telesa, to je razmerje med maščobno in nemaščobno telesno maso. Pred puberteto razlik v sestavi telesa med dekleti in dečki ni. V puberteti pa se te razlike močno povečajo. Pri fantih se povečuje delež mišične in kostne mase, pri dekletih pa se povečuje maščobna masa. V obdobju pospešene rasti se dinamika športne učinkovitosti deklet upočasni. Koncentracija estrogena se poveča tudi do 10x, koncentracija testosterona pa ostaja enaka, zato se poveča sinteza maščobnega tkiva, kar zmanjša gibalno učinkovitost deklet (Škof, 2007). V obdobju pubertete se pri fantih s starostjo gibalna učinkovitost še vedno povečuje, pri dekletih stagnira ali celo upada (Kovač in sod., 2011). Fantje, ki prehitvevajo biološki razvoj vrstnikov, so močnejši in

učinkovitejši v motoričnih spretnostih. Pri dekletih pa te korelacije ni zaznati. Pojavlja se celo negativna korelacija, ko dekleta, ki zaostajajo v biološkem razvoju, dosegajo boljše gibalne rezultate od vrstnic, ki prehitujejo biološki razvoj (Škof, 2007).

2.3 RAZVOJ PREDNJIH OKONČIN (ROKE) ČLOVEKA

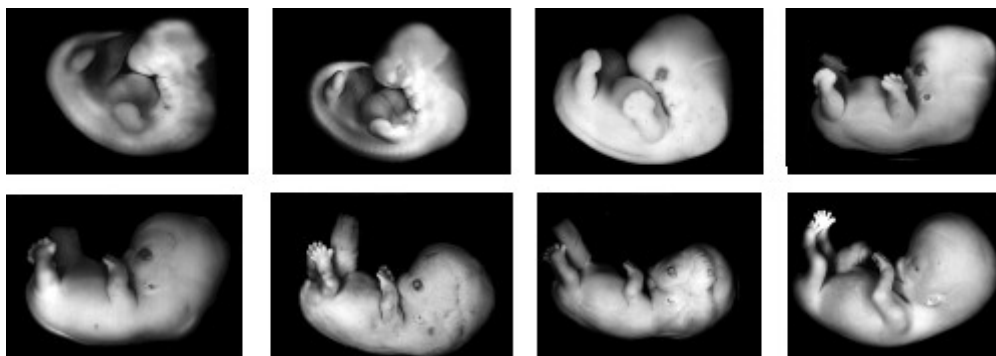
Pri 5 do 6 tednov starem človeškem zarodku (embrio) (velikosti približno 11 mm) že opazimo področja, iz katerih se bodo razvile okončine (Vetter, 1990). Te se pojavijo kot majhni brstiči na obeh straneh zarodka, kot to prikazuje slika 3 (Hill, 2006).



Slika 3: Razvoj prednje okončine med 5. in 8. tednom (Hill, 2006)

Komaj en teden kasneje (7 tednov) že lahko opazimo pet izboklin na roki, iz katerih se bodo razvili prsti (fotografija 17 na sliki 3) (Hill, 2006), noge pa so še vedno veslaste, brez prstnih izboklin (Vetter, 1990). Po 7 tednih se že razvijejo individualni prstni odtisi, ki bodo značilni za to osebo celo življenje. Prstne izbokline na nogah se pojavijo po 8 tednih

(Vetter, 1990). Roke se razvijajo hitreje in če pogledamo zarodek v celoti, v celotnem razvoju, noge vedno izgledajo mlajše (slika 4) (Hill, 2006).



Slika 4: Razvoj zarodka – 5 do 8 tednov (Hill, 2006)

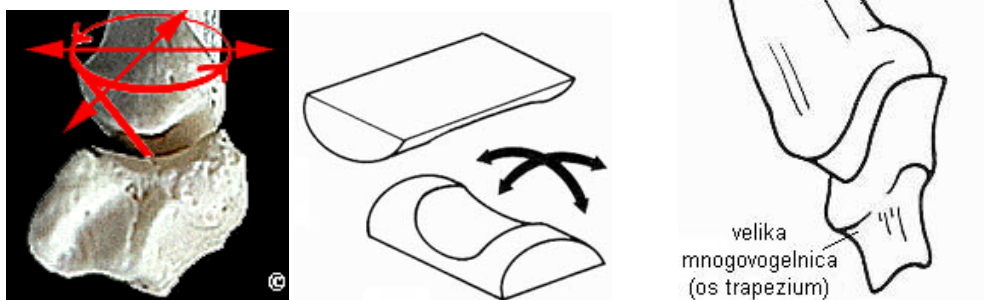
Okrog 8. tedna se že razvija kost namesto hrustanca. Osifikacijska centra dlančnic (II. do V.) sta dva, eden je v podolgovatem ravnem delu kosti (deblo – diafiza) in drugi na distalnem koncu kosti (okrajek – epifiza). Osifikacija v diafizi se začne v 9. tednu fetalne starosti, v epifizah pa ne pred drugim oz. tretjim letom starosti. Osifikacija palčeve dlančnice (I.) se tudi začne v diafizi v 9. tednu fetalne starosti, drugi osifikacijski center pa ni v glavici epifize ampak na bazi. To pa je vzorec, ki je sicer značilen za prstnice. Zato nekateri celo razlagajo, da palcu ne manjka prstnica, ampak dlančnica. Osifikacija prstnic poteka podobno, morda nekoliko prej, v 8. tednu fetalne starosti. Najkasneje se začne osifikacija proksimalnih epifiz. Osifikacija dlančnic in prstnic je zaključena približno med 18. in 25. letom (Schwartz, 1995). Pri velikosti zarodka 15 mm (9 tednov) že lahko opazimo prvo premikanje okončin (Vetter, 1990). V tem obdobju (9 tednov) zarodek že lahko upogne prste na roki okrog predmeta v dlani. Pri treh mesecih (12 tednov) v razvoju (30 g) zarodek že lahko oblikuje pest, kjer se lepo vidi tudi oponibilen palec. Pri 16 tednih zarodek že lahko čvrsto prime v roko tanek podolgovat predmet. Pri šestih mesecih (24 tednov) pa se lahko prime takega predmeta tako čvrsto, da lahko zdrži lastno težo. V tem obdobju so tudi noge že popolnoma izoblikovane. Noge so že pri treh mesecih zarodkove starosti enako razvite kot pri novorojenčku (Vetter, 1990).

Roka je najbolj mnogostranski del človeškega telesa. Omogoča držanje predmetov in rokovanje z njimi, kar je imelo pri razvoju človeka zelo velik pomen. Najpomembnejši del

tega »orodja« - roke, je palec. To omogočajo predvsem zelo gibljivi sklepi v roki, kjer se palec in drugi prsti lahko premikajo neodvisno in omogočajo zelo učinkovit prijem. Človeški palec je oponibilen (nasproten) konicam ostalih prstov, lahko ga zložimo v dlan ali zraven ostalih prstov in ga lahko zavrtimo za 90° v karpometakarpalnem sklepu. Vse to omogoča natančne in zapletene prijeme predmetov vsemogočih oblik, tako da jih pritisne ob ostale prste ali ob dlan (Flatt, 2002).

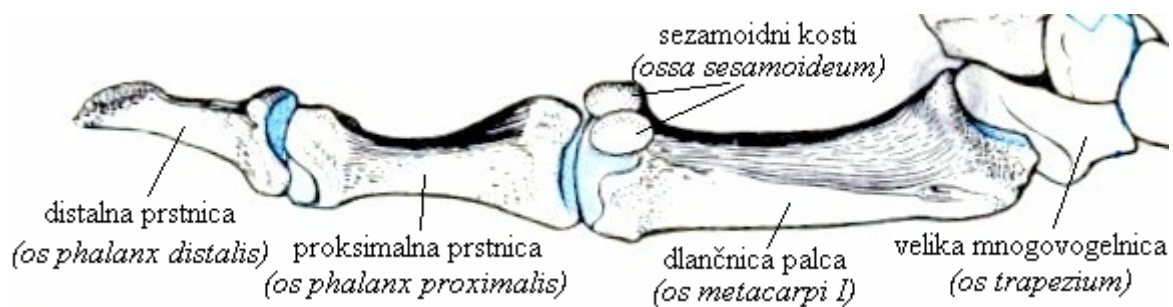
2.3.1 Anatomija palca

Gledano s strani palec leži pod dlančnicami ostalih prstov in štrli iz dlani pod kotom 45°. Ko palec zložimo zraven kazalca, se konica palca ne dotika kazalca zaradi manjkajoče prstnice in kratke dlančnice. Zaradi te postavitve lahko palec s konico seže do baze mezinca in plosko leži ob dlani. To omogoča karpometakarpalni sklep na bazi palca, ki je sedlaste oblike (slika 5). Ligamenti na bazi palca zagotovijo mehansko stabilnost palca (Flatt, 2002).



Slika 5: Sedlasti tip sklepa palca (karpometakarpalni sklep) (vir: https://student.brighton.ac.uk/anatomy/saddle_joints.htm)

Oporo palcu zagotavljajo tri kosti (slika 6), ki so povezane z dvema sklepoma (valjasti in kroglasti), tretji sedlasti pa povezuje palec z zapestjem. Premikanje palca nadzoruje osem mišic. Štiri močne mišice izhajajo iz podlakti in zagotavljajo stabilnost palca, štiri manjše mišice pa izhajajo iz dlani (okrog dlančnice) in omogočajo fine gibe (Flatt, 2002).



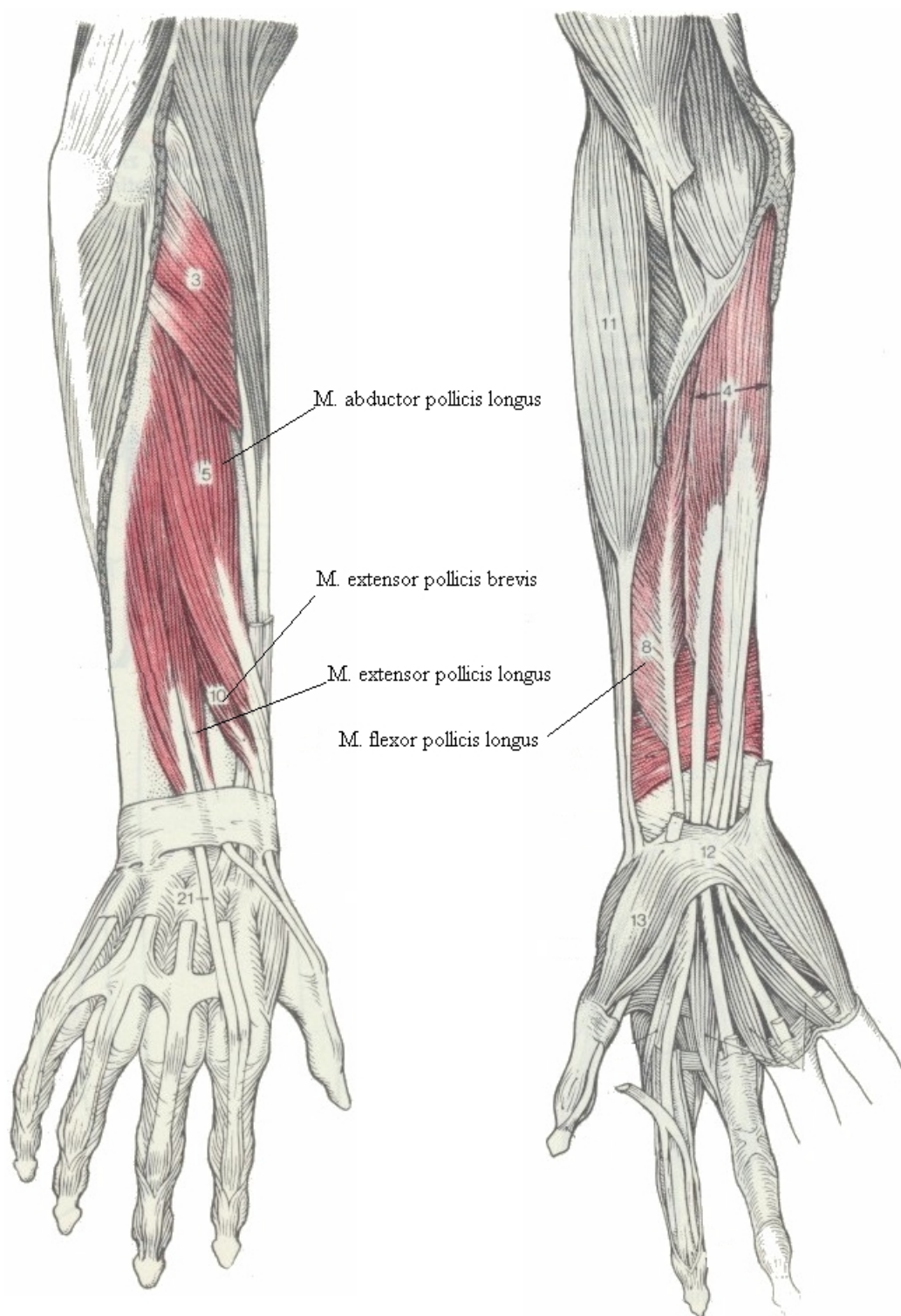
Slika 6: Kosti palca (Platzer, 2004)

Mišice, ki izhajajo iz podlakti so (slika 7a): (Platzer, 2004)

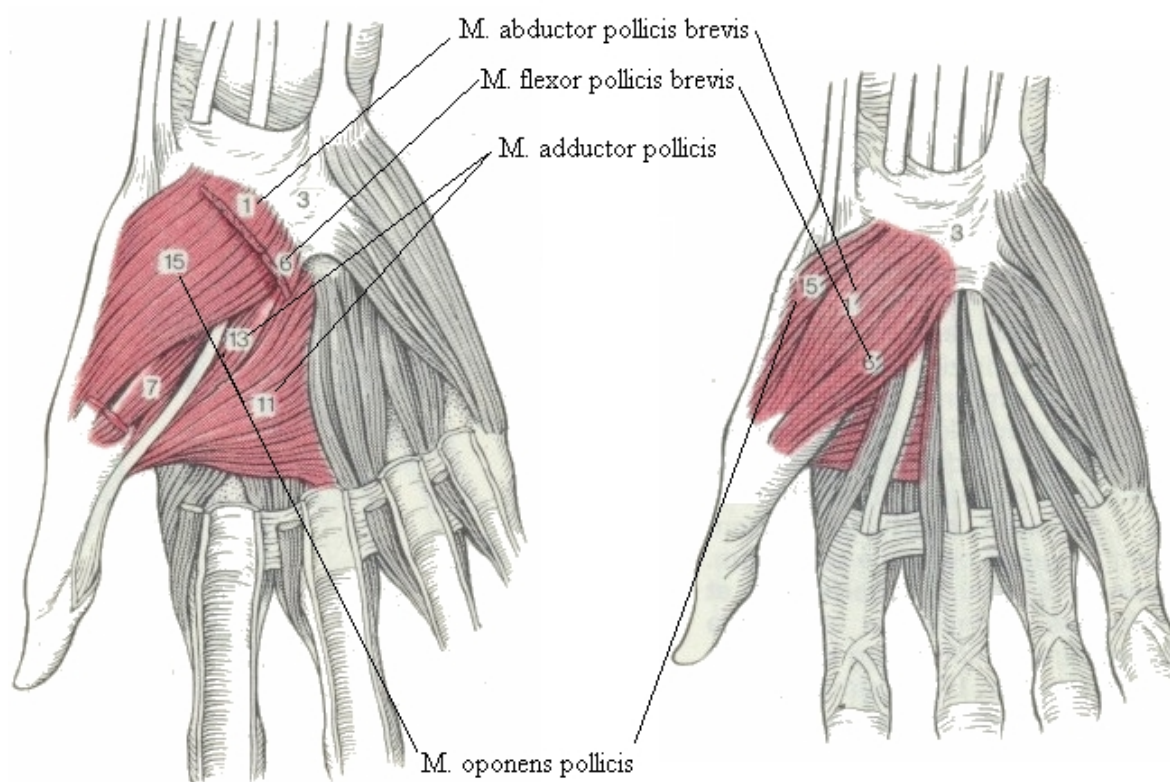
- *M. extensor pollicis longus*
- *M. abductor pollicis longus*
- *M. flexor pollicis longus*
- *M. extensor pollicis brevis*

Mišice, ki izhajajo iz dlani so (slika 7b): (Platzer, 2004)

- *M. abductor pollicis brevis*
- *M. flexor pollicis brevis*
- *M. adductor pollicis*
- *M. opponens pollicis*



Slika 7a: Mišice, ki nadzorujejo premikanje palca in izhajajo iz podlakti (Platzer, 2004)



Slika 7b: Mišice, ki nadzorujejo premikanje palca in izhajajo iz dlani (Platzer, 2004)

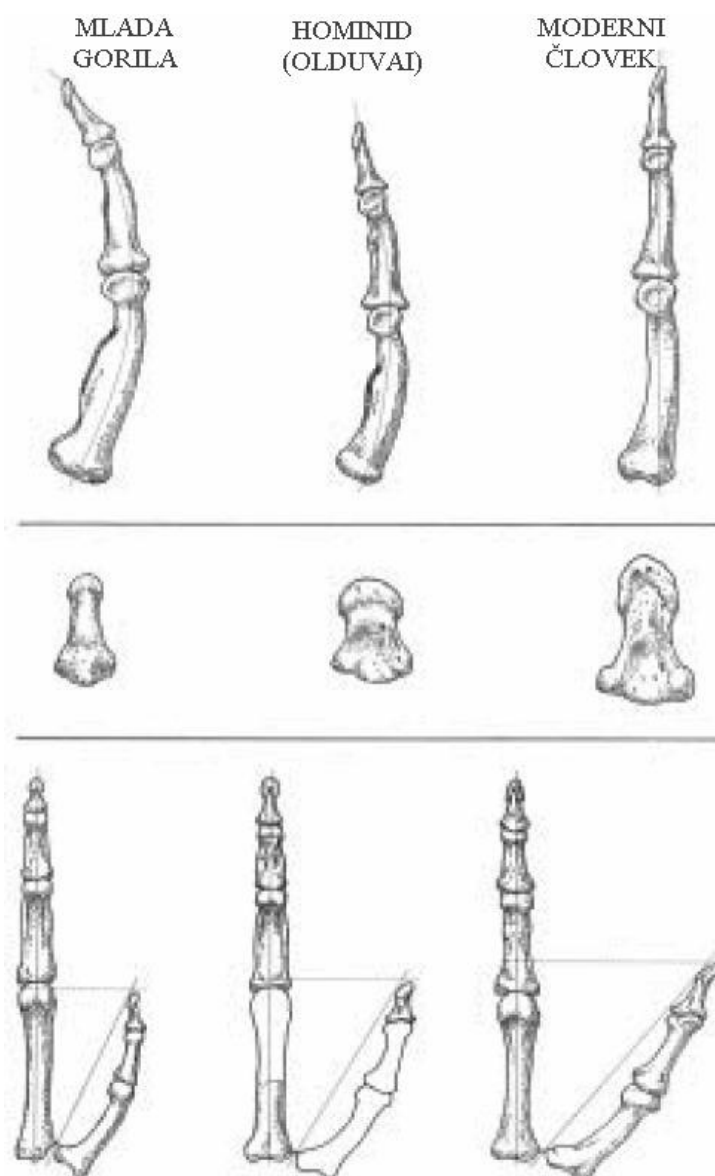
Gibljivost palca je različna od človeka do človeka in se giblje med 120° in celo do več kot 300° (Flatt, 2002). Najpogostejše prijeme tvorita palec in kazalec za držanje majhnih predmetov ali pa palec in strani kazalca in sredinca za držanje pisala (Platzer, 2004).

2.3.2 Razvoj palca

Naš najstarejši znani prednik, riba *Rhipidistia*, ki je izumrla pred 230 milijoni let, je že imela na prsni plavuti štiri prste s tremi prstnicami in enega (palec) z dvema prstnicama. Od tedaj naprej imajo vsi znani sesalci, plazilci in dvoživke v palcu le dve prstnici (Ahlberg in Clack, 2006).

Hominidi, živeči v miocenu, pred 15 milijoni let, so začeli razvijati bipedalno hojo in tako omogočili sprostitev prednje okončine (roke). To je omogočilo razvoj tako izjemnega orodja, kot so naše roke (Flatt, 2002). Sočasno so se morali začeti razvijati in večati motorični centri v možganih, ki so odgovorni za premikanje roke, saj je na ta način gibanje roke postalo mnogo bolj kompleksno kot prej, ko je bila uporabljena le za hojo (Wilson, 1998). Z večanjem motoričnega centra za premikanje rok, se je moral začeti večati tudi senzorični center za to področje. Roke so zavzemale vedno nove in nove položaje, ki so jih možganom sporočali kožni receptorji in proprioreceptorji v mišicah (Radman, 2013).

V evoluciji so se s časom ravnale krivine prstnic, ki so bile potrebne za prijemanje vej (brahiacija), daljšale in debelile so se končne (terminalne) prstnice palca in palec se je v primerjavi z ostalo dlanjo daljšal. Ostali prsti so se torej krajšali, postajali ravni, palci se večali in postajali vedno bolj gibljivi. Kot med kazalcem in palcem se je povečeval in postajal vedno bolj nasprotno ležeč (oponibilen) (slika 8). Tako je pri avstralopiteku palec že popolnoma oponibilen in prstnice ostalih prstov že krajše v primerjavi s palcem. Roka je postajala vedno bolj prefinjeno in uporabno orodje (Flatt, 2002).



Slika 8: Primerjava krivine prstnic palca (zgoraj), dolžine končne prstnice palca (sredina) in dolžine palca (spodaj) pri gorili, hominidu iz Olduvai-a in modernem človeku (Flatt, 2002)

Motorični center za premikanje rok se je še večal in največji del tega centra je postal odgovoren ravno za premikanje dlani. Celo do 50 % motoričnega centra, odgovornega za dlan, naj bi vodilo delovanje palca. Motorični center, odgovoren za dlan, je večji od centra za celo nogo (Flatt, 2002).

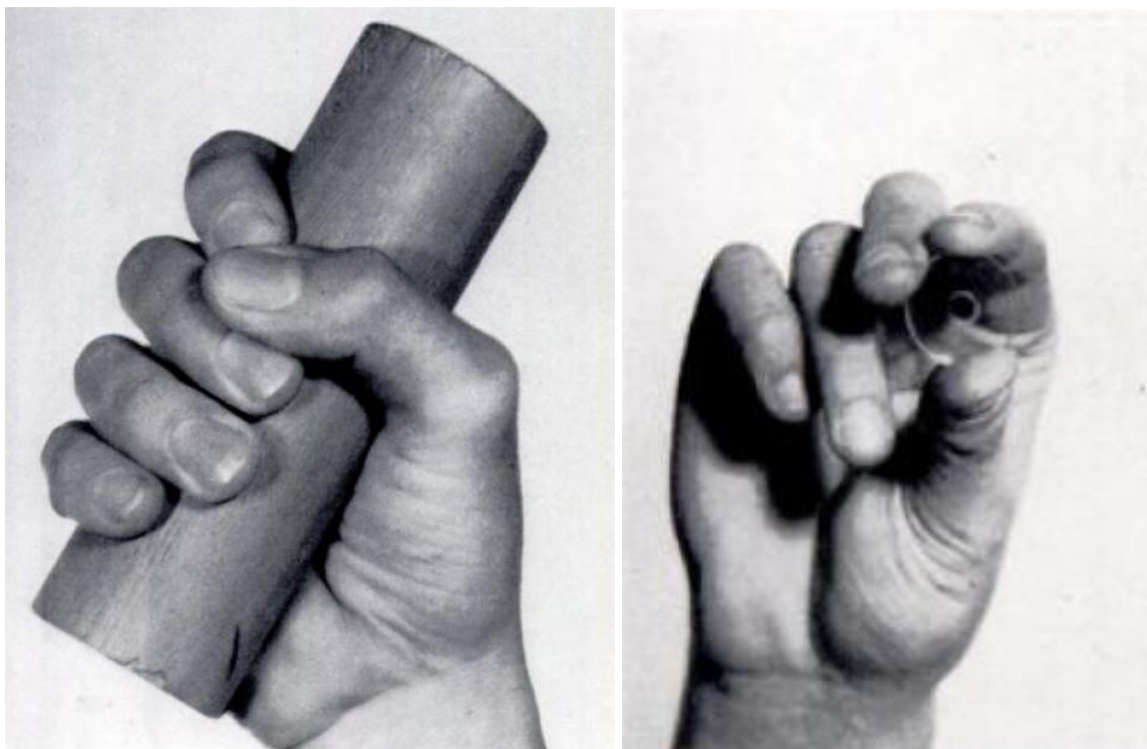
Opičje prednje okončine imajo dvojno vlogo. Vlogo roke in noge. Človek roke v vlogi noge uporablja le v zgodnjem otroštvu. Kasneje to vlogo opusti. »Osvoboditev« rok od

hoje, je med drugim omogočilo tudi, da si ljudje (in ostali primati) nosimo hrano k ustom in ne obratno, kot to počne večina ostalih sesalcev, razen nekaterih izjem (npr. veverice), ki pa nimajo oprijemalne roke in to nadomeščajo s prijemom z obema prednjima okončinama (Napier, 1993). Roke so tako pridobivale tudi vlogo orodja za ubijanje plena, ki so jo prevzemale od gobca (Radman, 2013). To je vodilo tudi k ostalim anatomskim spremembam, kot so krajšanje gobca in migracija oči na sprednjo stran glave (Napier, 1993). Vid je postajal vedno pomembnejše čutilo, tip (vibrise) in sluh sta začela zgubljati vlogo dominantnih čutil. Mišice, ki so omogočale močan ugriz in mišice, ki so nadzirale vibrise, so se sprostile in prevzele vlogo ustvarjanja obrazne mimike (grimase) (Radman, 2013). Prednje okončine so tako v evoluciji od opic do človečnjakov postopoma zgubljale vlogo noge in pridobivale vlogo roke, ki imajo pri ljudeh izključno vlogo manipulacije. Tako so se lahko začeli razvijati različni prijemi (Napier, 1993).

2.3.3 Razvoj prijemanja

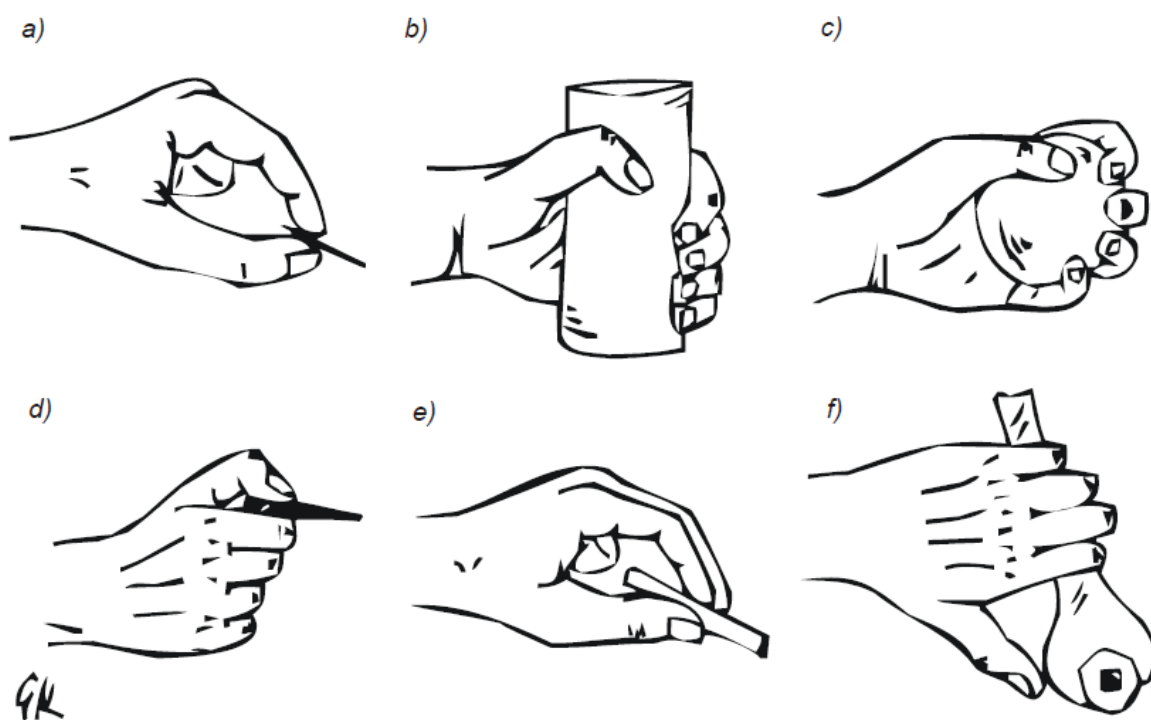
Prijemanje je sposobnost tesno obdati predmet s prsti in/ali dlanjo, ter ga obdržati v določenem položaju v roki, z namenom manipulacije z njim (SSKJ, 2000 in Napier, 1993). Prijemanje zahteva usklajeno delovanje osrednjega živčnega sistema (možgani in hrbtenjača) in mišic roke. Centralni živčni sistem nadzoruje aktivnost in položaj mišic s pomočjo povratne informacije receptorjev v koži, proprioreceptorjev v mišicah in sklepkih, ter vida (Kurillo in Bajd, 2004). Najpomembnejša lastnost človeške roke, ki vpliva na sposobnost prijemanja, je sposobnost upravljanja sile prstov. Ta vpliva na stabilnost prijetega predmeta in na spretnost pri nadaljnji manipulaciji s tem predmetom. Na stabilnost prijema vpliva tudi položaj predmeta v roki, na osnovi katerega lahko klasificiramo različne prijeme (Kurillo, 2006). V grobem delimo prijeme na močnostne in precizijske (slika 9). Pri močnostnem prijemu prijeti predmet objemajo z ene strani prsti in dlan, v kateri je predmet fiksiran. Palec z druge strani z nasprotno silo pritiska predmet k ostalim prstom in v dlan. Predmet je stabilno in močno fiksiran. Pri precizijskem prijemu oponibilen palec pritiska predmet k prstu (oz. prstom). Predmet je fiksiran le s prsti in pripravljen za natančno manipulacijo. V precizijski prijemu ni vključene dlani in predmet ni tako stabilno fiksiran kot pri močnostnem prijemu. Površina stika roke s predmetom je

manjša kot pri močnostnem prijemu (Napier, 1956). Sile, uporabljene pri manipulaciji s predmetom, so pri močnostnem prijemu lahko tudi petkrat večje, kot pri precizijskem prijemu (Kurillo, 2006).



Slika 9: Močnostni in precizijski prijem (Napier, 1956)

Prijeme glede na obliko in velikost predmeta, ki ga držimo, delimo po Schlesingerju (1919) na: pincetni prijem za majhne predmete, cilindrični prijem za predmete valjaste oblike, sferični prijem za predmete kroglaste oblike, lateralni prijem za ploščate predmete, trojni prijem za manjše predmete valjaste oblike in prijem kljuke za dvigovanje ali vlečenje (slika 10) (Kurillo, 2006 in Pikl, 2005).



Slika 10: Delitev prijemov glede na obliko in velikost predmetov (po Schlesingerju): a – pincetni prijem, b – cilindrični prijem, c – sferični prijem, d –lateralni prijem, e – trojni prijem, f –prijem kljuke (Kurillo, 2006)

S prijemanjem največkrat povezujemo divergenten palec. Vendar lahko prijemanje zagotovimo tudi na druge načine, na primer z dolgimi prsti in dlanjo, brez izrazitega palca, kot to počno opice (Napier, 1993). Za razvoj različnih prijemov in natančne manipulacije z objektom so poleg oponibilnega palca pomembni tudi neodvisni premiki prstov. Ta sposobnost se razvija postopoma od rojstva naprej. Pri novorojenčkih so prisotni refleksni gibi, kjer se prsti krčijo istočasno. Pri prvih hotenih gibih, pri treh mesecih, se prsti še vedno krčijo skupaj. Za fiksacijo predmeta v dlani se uporablja močnostni prijem. Počasi se loči premikanje palca od ostalih prstov in nekje pri 10 mesecih se kazalec in palec že premikata ločeno od ostalih prstov. Razvije se precizijski prijem. Vendar so natančni ločeni premiki ostalih prstov nekje do treh let za otroke še zelo težka naloga. To se dokončno razvije do desetega leta starosti. Ugotovili so, da se medsebojna odvisnost gibanja ostalih prstov postopno zmanjšuje od šestega do desetega leta starosti, ko ti dosežejo stopnjo neodvisnosti kot pri odraslih (Nowak in Hermsdorfer, 2009).

Samo dejanje prijemanja lahko razdelimo v tri faze: gibanje pred prijemom, statičen prijem in manipulacija z objektom. V fazi gibanja pred prijemom uporabljamo in se zanašamo predvsem na vid in pretekle izkušnje. Naloga te faze je izbrati optimalno pot, katere rezultat bo vodil do ustreznega statičnega prijema in preračunati zunanje koordinate predmeta v notranje koordinate (kote) sklepov. Prsti se oblikujejo glede na obliko predmeta, ki ga želimo prijeti. V fazi statičnega prijema vidnim informacijam dodamo še informacije receptorjev za tip s kože in različnih proprioreceptorjev iz mišic in tetiv. Pri tem je pomembno usklajeno delovanje vseh mišic dlani, da dosežemo ustrezno silo in navor na objekt manipulacije in tako zagotovimo ustrezno silo trenja med kožo in objektom, da ta ne zdrsne iz rok. Zadnja faza prijemanja, faza manipulacije, je podobna prvi fazi. Določiti moramo vodenje sklepov roke, da bomo pozicionirali objekt v željeno končno lego. Pri tem se razlikujejo močnostni in precizijski prijemi. Močnostni prijem teži k čim boljšemu ujemanju konfiguracije prijema z obliko predmeta. Značilne so velike sile, velika stabilnost prijema in velika površina dotika roke s predmetom. S predmetom manipulira predvsem zapestje, prsti pa mirujejo. Značilen močnostni prijem je cilindrični prijem, s katerim prijemamo na primer kozarec. Pri precizijskem prijemu so značilne majhne sile in majhne površine dotika roke s predmetom. Objekt ni tako trdno zasidran v dlani, manipulacijo pa izvajajo predvsem prsti. Značilen precizijski prijem je lateralni prijem, s katerim prijemamo na primer ključ ali druge ploščate predmete (Bajd in sod., 2006 in Veber, 2007). Pri naši raziskavi smo kot primer močnostnega prijema uporabili cilindrični in kot primer precizijskega prijema lateralni prijem.

2.3.3.1 Razvoj prijemanja v evoluciji (filogenija)

Večja telesna masa in sprememba diete sta dva pomembna faktorja pri evoluciji prijemov primatov. Zgodnji primati so bili insektivori in so se hranili na tleh. Tekmovanje s prav tako na tleh živečimi glodavci, jih je sililo v nove, še nenaseljene niše. S prehodom na dieto s plodovi dreves, se je spremenil način iskanja hrane. Z večanjem telesne mase je bilo brez oprijemalnih okončin težko priti do končnih vej, kjer so rasli užitni plodovi. V evoluciji primatov se je oprijemalna roka pojavila večkrat, vzporedno, tako pri opicah novega (ploskonose opice) kot starega sveta (giboni), ki so si po sorodstveni liniji precej

oddaljeni. Divergenca palca prednje okončine (roke) je počasi postajala prednostna in tako je prednja okončina dobivala vlogo roke in noge in končno pri človeku le vlogo roke (Napier, 1993).

2.3.3.2 Razvoj prijemanja v razvoju posameznika (ontogenija)

Opravljenе so bile raziskave oprijema pri majhnih otrocih. Pri 20 tednih (~4 mesece) starosti so otroci sposobni prvih refleksnih stiskov (refleksni prijem). Pri 24. tednih so sposobni grobih, neobdelanih, a že hotenih stiskov, vendar brez uporabe palca, objekt v dlani je lociran na podlahtnični (ulnarni) strani dlani (grob dlančni prijem). Pri 28. tednih palec še vedno ni vključen v prijem, objekt v dlani pa je lociran na sredini dlani (dlančni prijem) (MacKenzie in Iberall, 1994). Pri 32 tednih se objekt v dlani že premakne proti koželjnični (radialni) strani, kjer že sodeluje palec, ki potiska objekt v dlan (radialni dlančni prijem) (slika 11) (Edwards in sod., 2002).



refleksni prijem	grob dlančni prijem	dlančni prijem	radialni dlančni prijem
20 tednov	20-24 tednov	20-28 tednov	24-32 tednov

Slika 11: Razvoj prijema (20 – 32 tednov) (Edwards in sod., 2002)

Med 28. in 36. tednom se pojavi grabljasti prijem. Prsti so postavljeni v obliki gabelj in tako grabijo predmet v dlan. Prijem potrebuje trdno oporo in ni vedno uspešen. Kasneje (32 – 40 tednov) se pojavi žarkasti prstni prijem. Pri tem prijemu se že pojavi nasprotni položaj palca (opozicija) proti ostalim prstom (oponibilen palec). Položaj objekta v roki je, za razliko od prejšnjega prijema proksimalen glede na prstne blazinice, objekt ni naslonjen na dlan (med dlanjo in objektom je prazen prostor). V istem obdobju (32 – 40 tednov) se razvije tudi škarjasti prijem. Objekt je nameščen med pokrčenim palcem in zunanjo stranjo pokrčenega kazalca. Prav tako se med 32. in 40. tednom razvije inferioren pincetni prijem.

Značilna je opozicija palca, s katerim je objekt pritisnjen ob iztegnjen kazalec (slika 12) (Edwards in sod., 2002).



grabljasti prijem	žarkasti prstni prijem	škarjasti prijem	inferiorni pincetni prijem
28-36 tednov	32-40 tednov	32-40 tednov	32-40 tednov

Slika 12: Razvoj prijema (28 – 40 tednov) (Edwards in sod., 2002)

Med 44. in 52. tednom se razvije trojni prijem. Objekt je uklešččen med blazinice palca, kazalca in sredinca (palec je v opoziciji ostalima prstoma). Med 44. in 52. tednom se razvije tudi pincetni prijem. Objekt leži med blazinicama palca in kazalca. Oponibilnost palca je močno izražena in palec je v iztegnjenem položaju. Otrok še vedno potrebuje oporo trdne podlage. V tem obdobju (44 – 52 tednov) se končno razvije še spretni pincetni prijem. Objekt je ujet med blazinice palca in kazalca ali palca in sredinca. Prsti so pokrčeni in otrok ne potrebuje več opore trdne podlage (slika 13) (Edwards in sod., 2002).



trojni prijem	pincetni prijem	spretni pincetni prijem
44-52 tednov	44-52 tednov	44-52 tednov

Slika 13: Razvoj prijema (44 – 52 tednov) (Edwards in sod., 2002)

V nadaljnjem razvoju dlani se spremenijo tudi razmerja. Razmerja med posameznimi deli dlani in tako tudi palca, se spreminjajo tudi v odraslem obdobju (Harris in sod., 1992). Upad ročnih spretnosti se začne po 60. letu starosti, kar vpliva tudi na učinkovitost prijemanja in manipulacijo z objektom (Nowak in Hermsdorfer, 2009). Na univerzi v Tennesseeju so naredili longitudinalno študijo o spremembah dolžine dlančnic in prstnic.

Merili so dolžine vseh 19-tih kosti v dlani (5 dlančnic in 14 prstnic). Merili so odrasle, belopolte Američane, sprva kot 21-letnike in nato ponovno kot 55-letnike. Meritve so pokazale precejšnje razlike. Distalne in srednje prstnice so se signifikantno podaljševale, proksimalne prstnice se v dolžino niso dosti spreminjale, dlančnice pa so se krajšale. Te spremembe so bile izrazitejše pri moških (prstnice so se sorazmerno bolj podaljševale in dlančnice sorazmerno bolj krajšale) kot pri ženskah. Podaljševanje je bilo najizrazitejše v distalnih prstnicah. Krajšanje dlančnic je rezultat resorpcije hrustanca in sovpada z upadanjem aktivnosti in moči prijema s starostjo (Harris in sod., 1992).

Otroci niso desnoročni oz. levoročni že od rojstva. Ročnost pri otrocih se formira v povprečju do tretjega leta starosti (McManus in sod., 1988). Pred tem torej otroci nimajo dominantne oz. nedominantne roke. Stopnja polarizacije na dominantno in nedominantno roko se razvija do devetega leta starosti otrok. Hitro do sedmega leta in nato počasneje do devetega leta starosti (McManus in sod., 1988).

2.4 DOSEDANJE RAZISKAVE PRIJEMANJA

V letu 2004 je bila na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani opravljena raziskava, kjer so proučevali vpliv starosti na lateralni prijem. Razvili so napravo za merjenje sile cilindričnega in lateralnega prijema. Merjena oseba je sedela pred računalniškim zaslonom na katerem se je grafično prikazoval potek sile prijema, ki ji je morala slediti. Računalnik je beležil napako sledenja (relativna srednja kvadratična napaka). Merili so otroke, stare 9 do 11 let, mlajše odrasle, stare 25 do 35 let in starejše odrasle, stare 50 do 60 let. Ugotovili so, da so najboljše rezultate (najmanjšo napako sledenja) izmerili pri mlajših odraslih. Pri otrocih sposobnost prijemanja še ni tako razvita, pri starejših odraslih pa sposobnost kontrole prijema peša. Med rezultati izmerjenimi pri dominantni in nedominantni roki ni bilo pomembnih razlik (Kurillo in sod., 2004).

Upad ročnih spretnosti po 60. letu starosti je potrdila tudi raziskava iz leta 2005, ko so merili čas v katerem oseba sname matico iz različno oblikovanih nastavkov. Ugotovili so, da se čas, v katerem oseba sname matico, občutno poveča po 62. letu starosti (Nowak in Hermsdorfer, 2009).

V raziskavi iz leta 1999 so primerjali statični prijem z vizualno povratno informacijo 3-6 letnikov in odraslih. Preiskovane osebe so morale 5 sekund vzdrževati zahtevano silo, ki se je izrisala na zaslonu kot rdeča črta. S stiskom vmesnika, ki je bil priključen na računalnik, so morali vzdrževati ustrezno silo. Ugotovili so, da napaka pri vzdrževanju zahtevane sile prijema pada s starostjo otrok in močno pade pri odraslih. Po 5. letu starosti napaka močno upade. Niso ugotovili statistično značilne razlike med dominantno in nedominantno roko in prav tako nobene razlike med moškim in ženskim spolom (Blank in sod., 1999 in Blank in sod., 2000).

Leta 2004 so proučevali natančnost statičnih in dinamičnih prijemov z vizualno povratno informacijo 10 letnikov in odraslih oseb. Pri tem so ugotovili manjšo natančnost prijemanja in večjo variabilnost natančnosti prijemanja skupine otrok v primerjavi z odraslimi. Otroci so imeli več kot 2 krat večjo napako sledenja kot odrasli, kar nakazuje na manjšo natančnost prijemanja otrok v primerjavi z odraslimi. Pri obeh skupinah ni bilo opaziti statistično značilne razlike natančnosti prijemanja med dominantnimi in nedominantnimi rokami (Kurillo in sod., 2004).

Leta 2004 so analizirali natančnost prijema bolnikov z živčno - mišičnimi obolenji in jih primerjali z zdravimi odraslimi osebami. Ugotovili so, da je pri večini bolnikov prizadeta moč prijemanja in so se le ti slabše odrezali pri nadzorovanju moči prijema. Pri nekaterih bolnikih pa so kljub očitnemu pešanju mišične moči opazili dober nadzor nad močjo prijema (Kurillo in sod., 2004).

V raziskavi iz leta 2005 so primerjali natančnost prijema zdravih otrok z otroki z Downovim sindromom. Natančnost prijema otrok z Downovim sindromom je bila manjša zlasti na račun razumevanja danih nalog (Bajd in Kurillo, 2006).

Leta 2015 so s pomočjo merilnega sistema za merjenje in ocenjevanje prijemanja izmerili učinek amputacije prstov na moč prijemanja pri odraslih pacientih. Ugotovili so, da je moč prijema najmanj prizadeta pri amputaciji palca in najbolj pri amputaciji kazalca (Kuret in sod., 2015).

V minulih raziskavah je bilo torej ugotovljeno, da je nadzorovanje moči prijema boljše pri odraslih, kot pri otrocih, da s starostjo pri starejših odraslih upada nadzor moči prijema, da živčno - mišična obolenja in Downov sindrom negativno vplivajo na nadzor moči prijema. Te raziskave pa niso ugotovile, kako s starostjo otrok narašča natančnost prijema in kakšen je vpliv spola na natančnost prijema pri različnih starostih otrok.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MERJENE OSEBE

Merili smo štiri starostne skupine otrok, in sicer štiri, šest, devet in štirinajstletnike. Naš vzorec je obsegal skupno 97 oseb: 26 štiriletnikov, 22 šestletnikov, 23 devetletnikov in 26 štirinajstletnikov. Od tega je 43 merjenih oseb moškega in 54 oseb ženskega spola, kot je razvidno iz preglednice 1. Večina merjenih oseb je bila desnoročnih, le 11 jih je izjavilo, da so levoročni.

Preglednica 1: Vzorec uporabljen v raziskavi
Table 1: Sample used in research

Starost [let]	4	6	9	14	skupaj
Moški	11	11	11	10	43
Ženske	15	12	11	16	54
Število (N)	26	23	22	26	97

Otroci so iz dveh ljubljanskih osnovnih šol in iz vrtcev v Ljubljani in Šenčurju.

3.2 NAPRAVA ZA MERJENJE SILE PRIJEMANJA

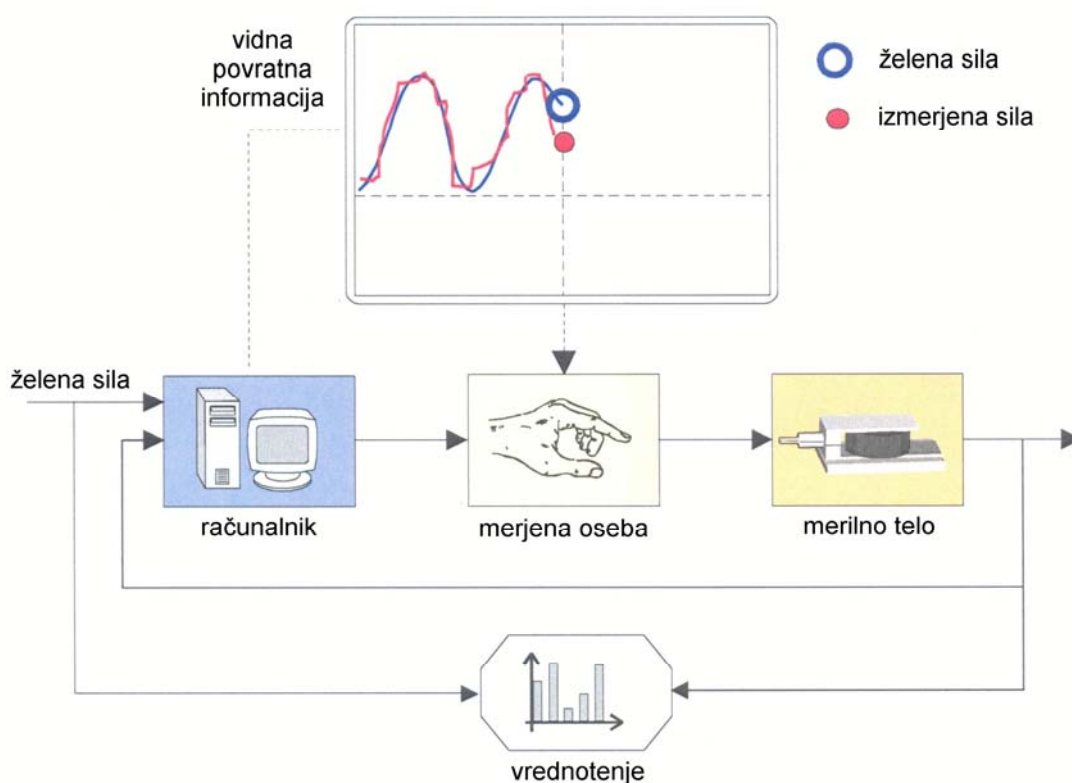
Pri raziskavi smo uporabili poseben računalniški vmesnik, ki meri silo cilindričnega, močnostnega prijema in lateralnega, precizijskega prijema, ki je bil razvit na Fakulteti za

elektrotehniko v Ljubljani (slika 14). Vsakega od prijemov merimo s posebnim merilnim telesom. Močnostni prijem z valjastim merilnim telesom in precizijskega s ploščatim merilnim telesom (slika 14). Kovinsko merilno telo je razdeljeno na dva simetrična dela, med katera je vstavljena senzorska celica z merilnimi lističi. Zaradi sile prijema se merilno telo z merilno celico deformira, kar povzroči spremembo upornosti merilnih lističev. Na ta način je deformacija, ki je proporcionalna sili, pretvorjena v električni signal. Izhodna električna napetost je ojačana z nizkošumnim ojačevalnikom in s pomočjo analogno - digitalnega pretvornika pretvorjena v digitalno obliko. Zajeta vrednost analogno digitalnega pretvornika je preko paralelne povezave prenesena v osebni računalnik, ki generira želeni potek sile na zaslonu.



Slika 14: Naprava za merjenje sile prijema: vmesnik za močnostni prijem, vmesnik za precizijski prijem in elektronski vmesnik za ojačenje, pretvorbo in posredovanje signalov (Bajd in Kurillo, 2006)

Želena sila je na zaslonu prikazana kot moder prstan, izmerjena sila merjene osebe pa kot rdeča pika. Ko merjena oseba večja silo prijema na merilno telo, rdeča pika potuje po zaslonu navzgor in ko sila prijema popušča, potuje navzdol. Naloga merjene osebe je, da silo prijema povečuje ali zmanjšuje tako, da je rdeča pika čim večji delež časa trajanja naloge v modrem prstanu (slika 15).



Slika 15: Shema sistema za ocenjevanje prijemanja z metodo sledenja sile prijema (Bajd in Kurillo, 2006)

Računalnik nato izračuna trenutno odstopanje v danem trenutku in relativno povprečno kvadratično napako sledenja referenčnih vrednosti v celotnem času meritve (ang.: relative root mean square error (rrmse)) (Bajd in sod., 2006 in Kurillo in sod., 2004).

3.3 NALOGE SLEDENJA

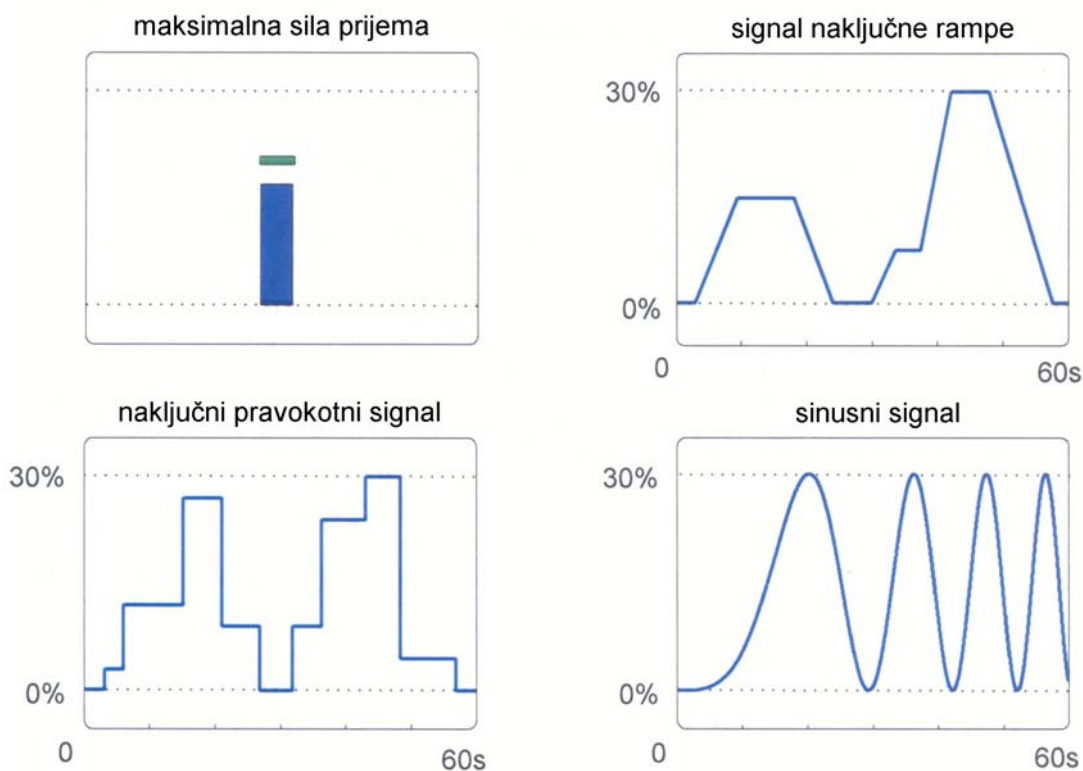
Naloga sledenja so naloge, ki jim mora merjena oseba z apliciranjem ustrezne sile na merilno telo slediti in se izrišejo na zaslonu (Kurillo, 2006). Merjeni osebi smo preko vidne informacije na računalniškem zaslonu posredovali informacijo o željeni sili, kateri je oseba poskušala slediti s svojim motoričnim odzivom (Kurillo in Bajd, 2004). Želena sila (moder prstan) je simultano z izmerjeno silo (rdeča pika) izrisana na zaslonu in pri vsaki nalogi sledi določenemu vzorcu (Kurillo, 2006). Za vsako merjeno osebo smo na začetku ugotavljali zmožnost maksimalne sile prijema in sicer za vsak prijem posebej (močnostni in precizijski prijem). Merjena oseba je sedela za računalnikom z merilnim telesom v roki (slika 16).



Slika 16: Merjena oseba za računalnikom z merilnim telesom v roki

Merilno telo je morala merjena oseba stisniti z vso močjo in pri tem je na računalniškem zaslonu opazovala dvig modrega stolpca (slika 17), ki je proporcionalen sili aplicirani na merilno telo. Računalnik je zabeležil maksimalno silo prijema in jo upošteval kasneje pri določitvi poteka želene sile tako, da je maksimalna sila potrebna za izvršitev posamezne naloge 30 % maksimalne sile prijema izmerjene sile na začetku. Nato smo izbrali tri različne časovne poteke želene sile, ki jih je generiral računalnik: sinusni signal z naraščajočo frekvenco, naključni pravokotni signal in signal naključne rampe (slika 17). Merjena oseba je morala slediti časovnemu poteku želene sile na zaslonu, tako da je z apliciranjem ustrezne sile na merilno telo usmerjala rdečo piko na zaslonu v moder prstan. Test s sinusnim signalom z naraščajočo frekvenco preverja natančnost in vzdržljivost ponavljajoče motorične aktivnosti. Pri testu z naključnim pravokotnim signalom beležimo

reakcijske čase (hitrost odzivov). Pri testu s signalom naključne rampe preverjamo sposobnost vzdrževanja konstantne sile na določenem nivoju in utrujanje (Kurillo, 2006).



Slika 17: Prikaz sile prijema pri testu maksimalne vrednosti in časovni potek želene sile treh oblik (Kurillo, 2006).

3.4 POSTOPEK

Vzgojiteljice oz. učiteljice merjenih oseb (otrok) smo naprosili naj jih opozorijo na morebitna očala, če jih imajo, nismo pa posebej preverjali dioptrije pred samo meritvijo. Merjena oseba je sedela na dvižnem stolu tako, da je bila roka v komolcu pokrčena v pravem kotu (90 °). Predhodno je oseba dobila ustna in praktična navodila. Vsaka oseba je najprej proizvedla maksimalno silo prijema, na podlagi katere je bil prilagojen maksimalni dvig sile na zaslonu (30 % od maksimalne vrednosti sile prijema) (slika 17). Pred vsakim prijemom (močnostni in precizijski) je oseba izvedla eno meritev za vajo, da je dobila občutek za prikaz referenčne in trenutne vrednosti sile na zaslonu. Oseba je nato izvedla

posamezne naloge v sledečem vrstnem redu: test s sinusnim signalom, test s signalom naključne rampe in test z naključnim pravokotnim signalom in sicer najprej za precizijski prijem z dominantno roko in nato še z nedominantno roko. Potem je vse skupaj ponovila še za močnostni prijem. Vsaka naloga je trajala 60 s. Vseh nalog, če upoštevamo obe roki, oba prijema in vse 4 meritve maksimalne sile prijema, je bilo 16 (preglednica 2).

Preglednica 2: Plan dela
Table 2: Work plan

Št. meritve	naloga	roka	orodje
1	maksimalna sila	dominantna roka	precizijski prijem
2	signal naključne rampe		
3	sinusni signal		
4	naključni pravokotni signal		
5	maksimalna sila	nedominantna roka	
6	signal naključne rampe		
7	sinusni signal		
8	naključni pravokotni signal		
9	maksimalna sila	dominantna roka	močnostni prijem
10	signal naključne rampe		
11	sinusni signal		
12	naključni pravokotni signal		
13	maksimalna sila	nedominantna roka	
14	signal naključne rampe		
15	sinusni signal		
16	naključni pravokotni signal		

Merjena oseba je morala z večanjem ali manjšanjem sile na merilno telo (rdeča pika) slediti zeleni sili (moder prstan) tako, da je bila rdeča pika čim bolj v sredini modrega prstana. Računalnik je ves čas meritve beležil odstopanja sile prijema od zelene sile in na koncu vsake naloge podal relativno povprečno kvadratično napako sledenja (rrmse) za celoten potek naloge po formuli (1). Rrmse je relativna količina in zato brez enot.

$$\text{rrmse} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=2}^{T-60} \frac{(F_O(t) - F_T(t))^2}{\max(F_T)^2}} \quad \dots (1)$$

(Kurillo in Bajd, 2004), kjer je:

F_0 – izmerjena sila

F_T – zelena sila

T – čas trajanja celotnega poskusa (60 s)

t - čas

$\max(F_T)$ – največja vrednost zelene sile (30 % izmerjene maksimalne sile)

Večja kot je ta napaka, manjša je sposobnost nadzora sile prijemanja.

3.5 STATISTIČNA OBDELAVA

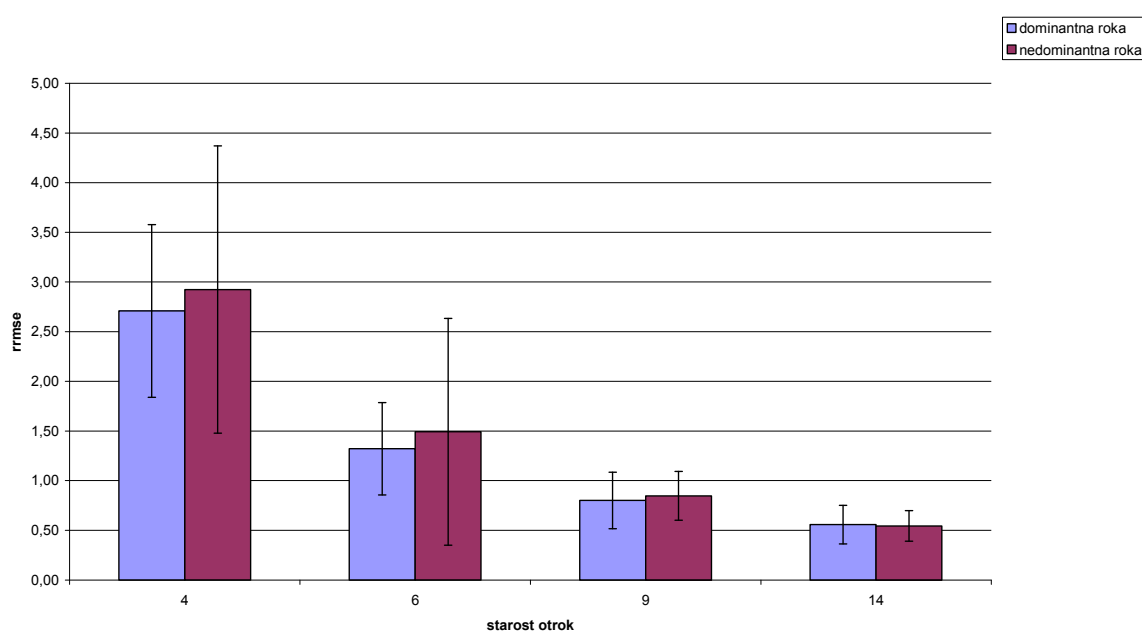
Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili program SPSS. Uporabili smo Levenov test homogenosti varianc, ki je pokazal, da variance niso homogene, zato smo namesto analize variance (ANOVA) uporabili robustni Welchov test enakosti srednjih vrednosti in post hoc Tamhane test (Pallant, 2005). Welchov test je alternativa za analizo variance (ANOVA) pri vzorcih z nehomogenimi variancami. Primerja enakost srednjih vrednosti dveh ali več skupin in nam pove ali obstaja statistično pomembna razlika med temi skupinami. Ker je Welchov test pokazal statistično značilno razliko napak sledenja med starostnimi skupinami otrok, smo uporabili še Tamhane post hoc test, ki nam pokaže točno med katerimi skupinami so statistično značilne razlike. Statistično pomembne razlike smo sprejeli pri 5 % tveganju ($P < 0,05$).

4 REZULTATI

4.1 VPLIV STAROSTI OTROK NA NATANČNOST MOČNOSTNEGA PRIJEMA

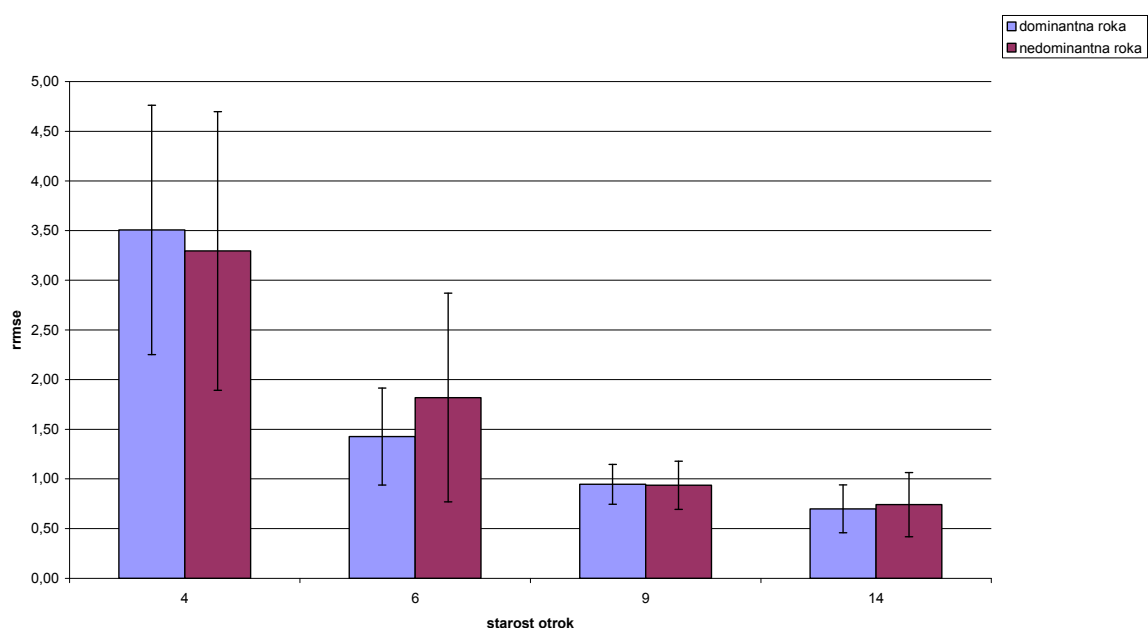
Slike 18 do 20 prikazujejo napake sledenja pri močnostnem prijemu in posamezne poteke zelene sile, za dominantno in nedominantno roko.

Slika 18 v obliki stolpičnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) močnostnega prijema pri poteku sile signala naključne rampe, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada, kar smo pričakovali za vse poteke sil. Največji upad vrednosti napake sledenja je viden med štiri in šestletniki in najmanjši med devet in štirinajstletniki. Na grafu označen standardni odklon kaže največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih in najmanjšo pri štirinajstletnikih, za obe roki.



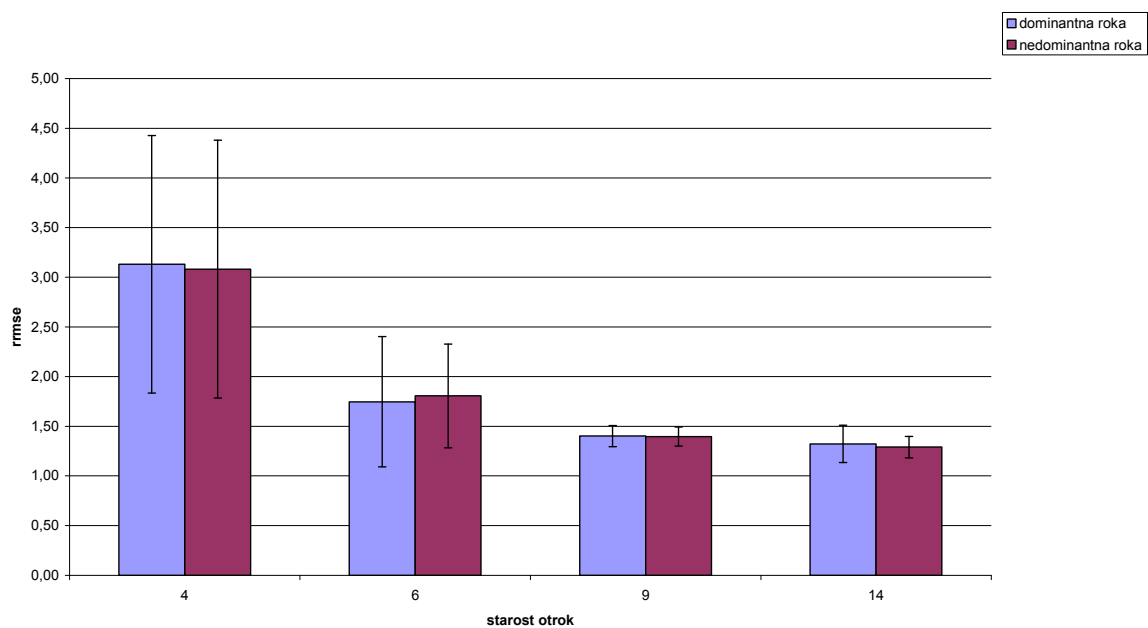
Slika 18: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sile signala naključne rampe
Figure 18: Tracking error for power grip, for both hands, for random ramp target signal

Slika 19 v obliki stolpičnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) močnostnega prijema pri poteku sile sinusnega signala, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada. Največji upad vrednosti napake sledenja se zopet kaže med štiri in šestletniki in najmanjši med devet in štirinajstletniki. Standardni odklon zopet kaže največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih in najmanjšo pri devetletnikih, za obe roki.



Slika 19: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sinusnega signala
Figure 19: Tracking error for power grip, for both hands, for sinusoidal target signal

Slika 20 v obliki stolpčnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) močnostnega prijema pri poteku sile naključnega pravokotnega signala, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada. Največji upad vrednosti napake sledenja se ponovno odraža med štiri in šestletniki in razlika med devet in štirinajstletniki je minimalna. Standardni odklon spet kaže na največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih in najmanjšo pri devetletnikih, za obe roki.



Slika 20: Prikaz napake sledenja močnostnega prijema z obema rokama za potek sile naključnega pravokotnega signala

Figure 20: Tracking error for power grip, for both hands, for random rectangular target signal

Levenov test homogenosti varianc (preglednica 3) je pokazal, da variabilnost znotraj vzorcev ni homogena, torej test analize varianc (ANOVA) ni primeren.

Preglednica 3: Levenov test homogenosti varianc za močnostni prijem
Table 3: Levene test of homogeneity of variances for power grip

	Levenova Statistika	df1	df2	P
Signal naključne rampe dominantna roka	13,644	3	93	0,000
Sinusni signal dominantna roka	17,075	3	93	0,000
Naključni pravokotni signal dominantna roka	24,454	3	93	0,000
Signal naključne rampe nedominantna roka	11,312	3	93	0,000
Sinusni signal nedominantna roka	8,595	3	93	0,000
Naključni pravokotni signal nedominantna roka	24,836	3	93	0,000

Zato smo uporabili za take vzorce bolj primeren robustni Welchov test enakosti srednjih vrednosti (preglednica 4), ki s 5 % tveganjem pokaže statistično značilno razliko med srednjimi vrednostmi napak sledenja med posameznimi starostnimi skupinami otrok. Iz preglednice 4 je razvidno, da obstaja statistično značilna razlika med starostnimi skupinami otrok.

Preglednica 4: Welchov test enakosti srednjih vrednosti rrmse za močnostni prijem
Table 4: Welch robust test of equality of means rrmse for power grip

	Welchova statistika	df1	df2	P
Signal naključne rampe dominantna roka	62,467	3	46,617	0,000
Sinusni signal dominantna roka	51,110	3	48,498	0,000
Naključni pravokotni signal dominantna roka	18,543	3	45,978	0,000
Signal naključne rampe nedominantna roka	33,472	3	43,944	0,000
Sinusni signal nedominantna roka	32,161	3	47,490	0,000
Naključni pravokotni signal nedominantna roka	24,831	3	47,046	0,000

V preglednici 5 smo zbrali vse srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za močnostni prijem, katerih statistično pomembnost razlike smo preverjali z Welchovim testom.

Preglednica 5: Srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za močnostni prijem
Table 5: Mean rrmse for power grip

močnostni prijem	starost [leta]	N	dominantna roka		nedominantna roka	
			M	standardni odklon	M	standardni odklon
signal naključne rampe	4	26	2,71	0,87	2,92	1,45
	6	23	1,32	0,46	1,49	1,14
	9	22	0,80	0,28	0,85	0,25
	14	26	0,56	0,19	0,54	0,15
sinusni signal	4	26	3,51	1,26	3,30	1,40
	6	23	1,43	0,49	1,82	1,05
	9	22	0,95	0,20	0,94	0,24
	14	26	0,70	0,24	0,74	0,32
naključni pravokotni signal	4	26	3,13	1,30	3,08	1,30
	6	23	1,75	0,66	1,81	0,52
	9	22	1,40	0,11	1,40	0,10
	14	26	1,32	0,19	1,29	0,11

S Tamhanovim Post Hoc testom (preglednica 6), ki pokaže točno med katerimi skupinami so razlike, smo ugotavljali statistično pomembnost razlik med posameznimi starostnimi skupinami otrok. Ta je s 5 % tveganjem pokazal, da so razlike v napakah sledenja za močnostni prijem med starostnimi skupinami statistično pomembne, razen sledečih primerjav:

- naključni pravokotni signal z dominantno roko med 6 in 9-letniki
- naključni pravokotni signal z dominantno roko med 9 in 14-letniki
- signal naključne rampe z nedominantno roko med 6 in 9-letniki in
- sinusni signal z nedominantno roko med 9 in 14-letniki

Rezultate statistične analize preizkusa mnogoterih primerjav statistično pomembnih razlik v napaki močnostnega prijema glede na starost (Tamhanovega post hoc testa) za precizijski prijem smo predstavili v preglednici 6, kjer so s krepkim tiskom označene statistično nepomembne razlike.

Preglednica 6: Preizkus mnogoterih primerjav statistične pomembnosti razlik v napaki močnostnega prijema glede na starost (s krepkim tiskom so označene statistično nepomembne razlike)

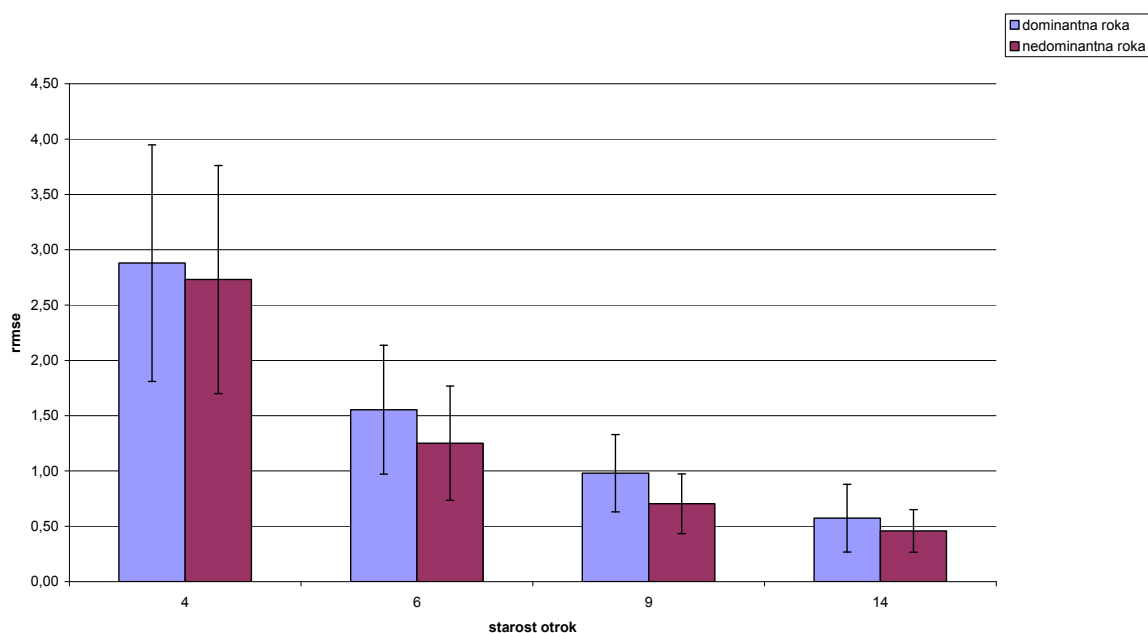
Table 6: The test of multiple comparisons of rmse for power grip according to age (statistically insignificant results are in bold)

dominantnost roke	potek zelene sile	starost otrok (primerjava)		P
dominantna roka	signal naključne rampe	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,000
		6	14	0,000
		9	14	0,010
	sinusni signal	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,001
		6	14	0,000
	naključni pravokotni signal	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,116
		6	14	0,036
		9	14	0,372
	nedominantna roka	signal naključne rampe	4	6
4			9	0,000
4			14	0,000
6			9	0,081
6			14	0,004
9			14	0,000
sinusni signal		4	6	0,001
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,004
		6	14	0,000
		9	14	0,126
naključni pravokotni signal		4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,007
		6	14	0,001
		9	14	0,004

4.2 VPLIV STAROSTI OTROK NA NATANČNOST PRECIZIJSKEGA PRIJEMA

Slike 21 do 23 prikazujejo rezultate za precizijski prijem in posamezne poteke želene sile, za dominantno in nedominantno roko.

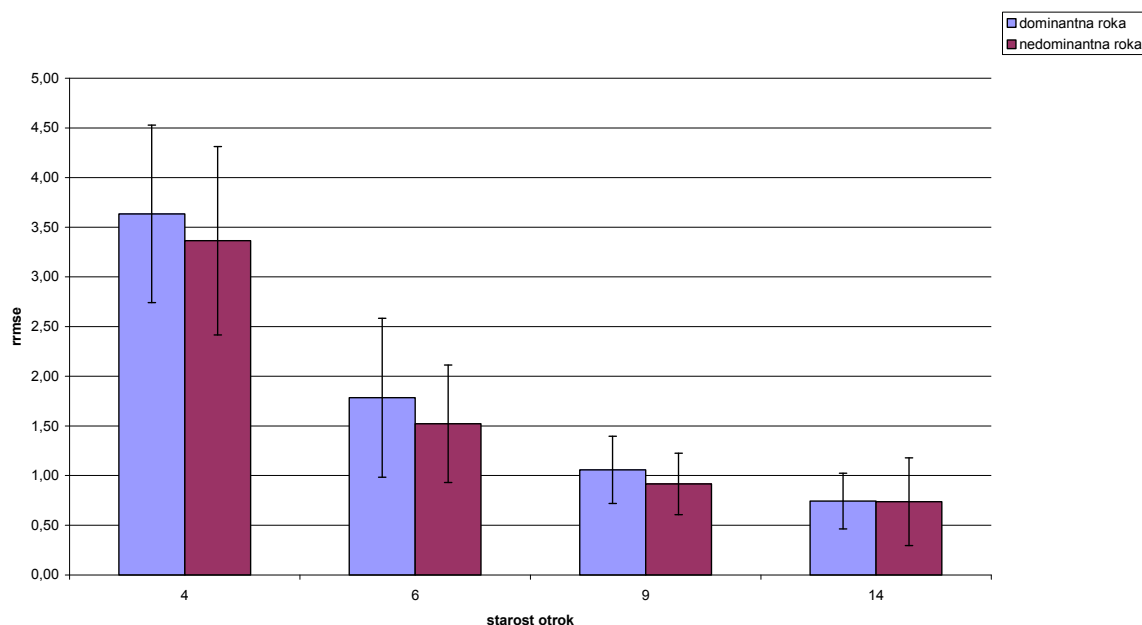
Slika 21 v obliki stolpičnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) precizijskega prijema pri poteku sile signala naključne rampe, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada. Največji upad vrednosti napake sledenja je viden med štiri in šestletniki in najmanjši med devet in štirinajstletniki. Na grafu označen standardni odklon kaže največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih in najmanjšo pri štirinajstletnikih, za obe roki.



Slika 21: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek signala naključne rampe
Figure 21: Tracking error for precision grip, for both hands, for random ramp target signal

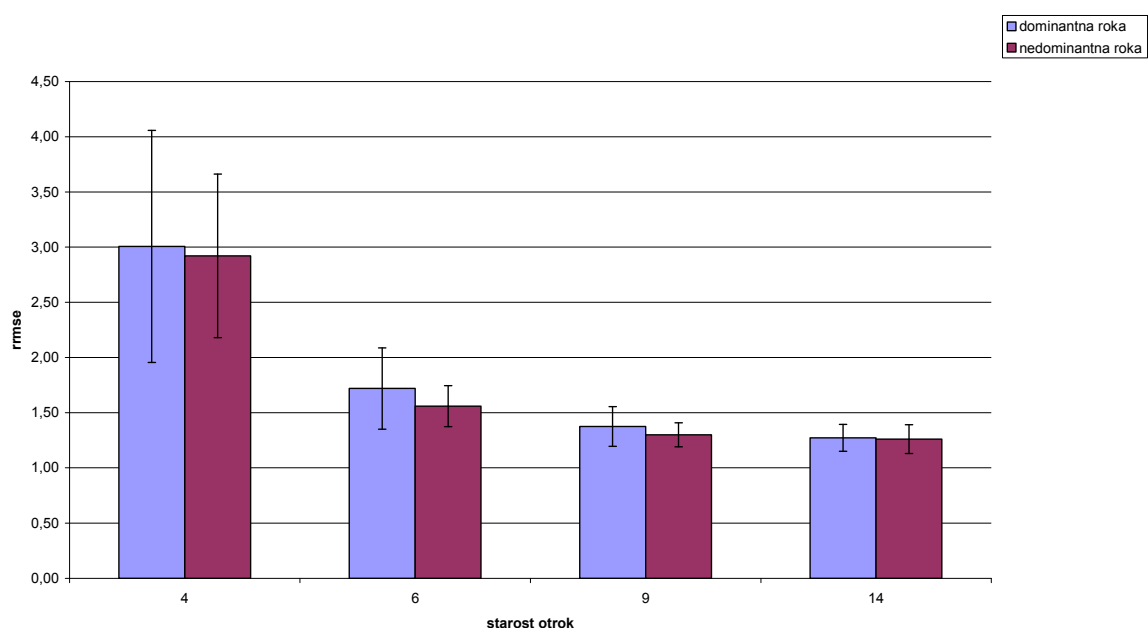
Slika 22 v obliki stolpičnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) precizijskega prijema pri poteku sile sinusnega signala, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada. Največji upad vrednosti napake sledenja se zopet kaže med štiri in

šestletniki in najmanjši med devet in štirinajstletniki. Standardni odklon zopet kaže največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih.



Slika 22: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek sinusnega signala
Figure 22: Tracking error for precision grip, for both hands, for sinusoidal target signal

Slika 23 v obliki stolpičnega grafa prikazuje povprečne vrednosti napak sledenja (rmse) precizijskega prijema pri poteku sile naključnega pravokotnega signala, za posamezne starostne skupine otrok z dominantno in nedominantno roko. Iz grafa je razvidno, da napaka sledenja s starostjo otrok pada, kot pri vseh ostalih potekih sil. Največji upad vrednosti napake sledenja se ponovno odraža med štiri in šestletniki in razlika med devet in štirinajstletniki je minimalna. Standardni odklon spet kaže na največjo razpršenost vrednosti napak sledenja pri štiriletnikih in najmanjšo pri štirinajstletnikih, za obe roki.



Slika 23: Prikaz napake sledenja precizijskega prijema z obema rokama za potek naključnega pravokotnega signala

Figure 23: Tracking error for precision grip, for both hands, for random rectangular target signal

Enako kot za močnostni je tudi pri precizijskem prijemu Levenov test homogenosti varianc (preglednica 7) pokazal, da variabilnost znotraj vzorcev ni homogena.

Preglednica 7: Levenov test homogenosti varianc za precizijski prijem
Table 7: Levene test of homogeneity of variances for precision grip

	Levenova Statistika	df1	df2	P
Signal naključne rampe dominantna roka	4,176	3	93	0,008
Sinusni signal dominantna roka	6,727	3	93	0,000
Naključni pravokotni signal dominantna roka	11,378	3	93	0,000
Signal naključne Rampe nedominantna roka	10,625	3	93	0,000
Sinusni signal nedominantna roka	4,476	3	93	0,006
Naključni pravokotni signal nedominantna roka	32,350	3	93	0,000

Robustni Welchov test enakosti srednjih vrednosti (preglednica 8) pokaže statistično značilno razliko med srednjimi vrednostmi napak sledenja med posameznimi starostnimi skupinami otrok.

Preglednica 8: Welchov test enakosti srednjih vrednosti rrmse za precizijski prijem
Table 8: Welch robust test of equality of means rrmse for precision grip

	Welchova statistika	df1	df2	P
Signal naključne rampe dominantna roka	48,185	3	48,610	0,000
Sinusni signal dominantna roka	86,860	3	47,463	0,000
Naključni pravokotni signal	31,923	3	45,589	0,000
Signal naključne rampe	52,960	3	46,414	0,000
Sinusni signal nedominantna roka	60,208	3	49,832	0,000
Naključni pravokotni signal nedominantna roka	52,849	3	49,530	0,000

V preglednici 9 smo zbrali vse srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za precizijski prijem, katerih statistično pomembnost razlike smo preverjali z Welchovim testom.

Preglednica 9: Srednje vrednosti napak sledenja (rrmse) za precizijski prijem

Table 9: Mean rrmse for precision grip

precizijski prijem	starost [leta]	N	dominantna roka		nedominantna roka	
			M	standardni odklon	M	standardni odklon
signal naključne rampe	4	26	2,88	1,07	2,73	1,03
	6	23	1,55	0,58	1,25	0,52
	9	22	0,98	0,35	0,70	0,27
	14	26	0,57	0,31	0,46	0,19
sinusni signal	4	26	3,63	0,89	3,36	0,95
	6	23	1,78	0,80	1,52	0,59
	9	22	1,06	0,34	0,92	0,31
	14	26	0,74	0,28	0,74	0,44
naključni pravokotni signal	4	26	3,01	1,05	2,92	0,74
	6	23	1,72	0,37	1,56	0,19
	9	22	1,38	0,18	1,30	0,11
	14	26	1,27	0,12	1,26	0,13

S Tamhanovim post hoc testom (preglednica 10) smo nato ugotavljali statistično pomembnost razlik med posameznimi starostnimi skupinami otrok, ki je s 5 % tveganjem

pokazala, da so razlike med starostnimi skupinami statistično pomembne, razen sledečih primerjav:

- naključni pravokotni signal z dominantno roko med 9 in 14-letniki
- sinusni signal z nedominantno roko med 9 in 14-letniki
- naključni pravokotni signal z nedominantno roko med 9 in 14-letniki

Rezultate statistične analize preizkusa mnogoterih primerjav statistično pomembnih razlik v napaki precizijskega prijema glede na starost (Tamhanovega post hoc testa) za precizijski prijem smo predstavili v preglednici 10, kjer so s krepkim tiskom označene statistično nepomembne razlike.

Preglednica 10: Preizkus mnogoterih primerjav statistične pomembnosti razlik v napaki precizijskega prijema glede na starost (s krepkim tiskom so označene statistično nepomembne razlike)

Table 10: The test of multiple comparisons of rmse for precision grip according to age (statistically insignificant results are in bold)

dominantnost roke	potek želene sile	starost otrok (primerjava)		P
dominantna roka	signal naključne rampe	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,002
		6	14	0,000
		9	14	0,001
	sinusni signal	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,002
		6	14	0,000
	naključni pravokotni signal	4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,002
		6	14	0,000
		9	14	0,161
	nedominantna roka	signal naključne rampe	4	6
4			9	0,000
4			14	0,000
6			9	0,000
6			14	0,000
9			14	0,006
sinusni signal		4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,001
		6	14	0,000
naključni pravokotni signal		4	6	0,000
		4	9	0,000
		4	14	0,000
		6	9	0,000
		6	14	0,000
		9	14	0,492
naključni pravokotni signal		4	6	0,000
	4	9	0,000	
	4	14	0,000	
	6	9	0,000	
	6	14	0,000	
	9	14	0,844	

4.3 VPLIV DOMINANTNOSTI ROKE NA NATANČNOST PRIJEMOV

Vse merjene osebe so meritev izvajale najprej z dominantno in nato še z nedominantno roko.

Na slikah 18 do 23 je iz stolpičnih grafov razvidna primerjava napake prijemanja dominantne in nedominantne roke. Statistična analiza (T – test) (preglednica 11) je s 5 % tveganjem pokazala, da med dominantno in nedominantno roko v natančnosti izvajanja nalog sledenja ni statistično pomembnih razlik tako za precizijski kot za močnostni prijem. Pri večini nalog je iz grafov opazna rahlo večja napaka sledenja pri dominantni roki.

Preglednica 11: Rezultati statistične analize (T – test) primerjave napak prijemanja med dominantno in nedominantno roko

Table 11: T – test to compare rmse for dominant and nondominant hand

prijem	potek zelene sile	dominantnost roke	N	M	standardni odklon	t	df	P
precizijski prijem	signal naključne rampe	dominantna roka	97	1,44	1,199	0,963	97	0,337
		nedominantna roka	97	1,28	1,188			
	sinusni signal	dominantna roka	97	1,87	1,336	0,896	97	0,371
		nedominantna roka	97	1,70	1,226			
	naključni pravokotni signal	dominantna roka	97	1,77	1,016	0,667	97	0,505
		nedominantna roka	97	1,68	0,919			
močnostni prijem	signal naključne rampe	dominantna roka	97	1,40	1,077	-0,641	97	0,522
		nedominantna roka	97	1,52	1,370			
	sinusni signal	dominantna roka	97	1,68	1,255	-0,436	97	0,663
		nedominantna roka	97	1,76	1,375			
	naključni pravokotni signal	dominantna roka	97	1,81	1,158	0,064	97	0,949
		nedominantna roka	97	1,80	1,086			

4.4 VPLIV SPOLA NA NATANČNOST PRIJEMOV

Vzorec merjenih oseb je obsegal 97 oseb, 43 oseb je bilo moškega in 54 ženskega spola. Natančnost prijemanja smo s T - testom primerjali po spolu in s 5 % tveganjem ugotovili, da ni statistično značilne razlike med prijemanjem merjenih oseb ženskega in moškega spola.

Preverili smo tudi neodvisnost spremenljivke spola od starosti z analizo kovariance (MANCOVA), ki je pokazala, da je ugotovljena razlika med spoloma neodvisna od starosti.

Tudi statistična analiza (T – test) primerjave med spoloma, za vsako starost posebej, je s 5 % tveganjem pokazala, da ni statistično pomembne razlike med napakami prijemanja med spoloma posameznih starostnih skupin.

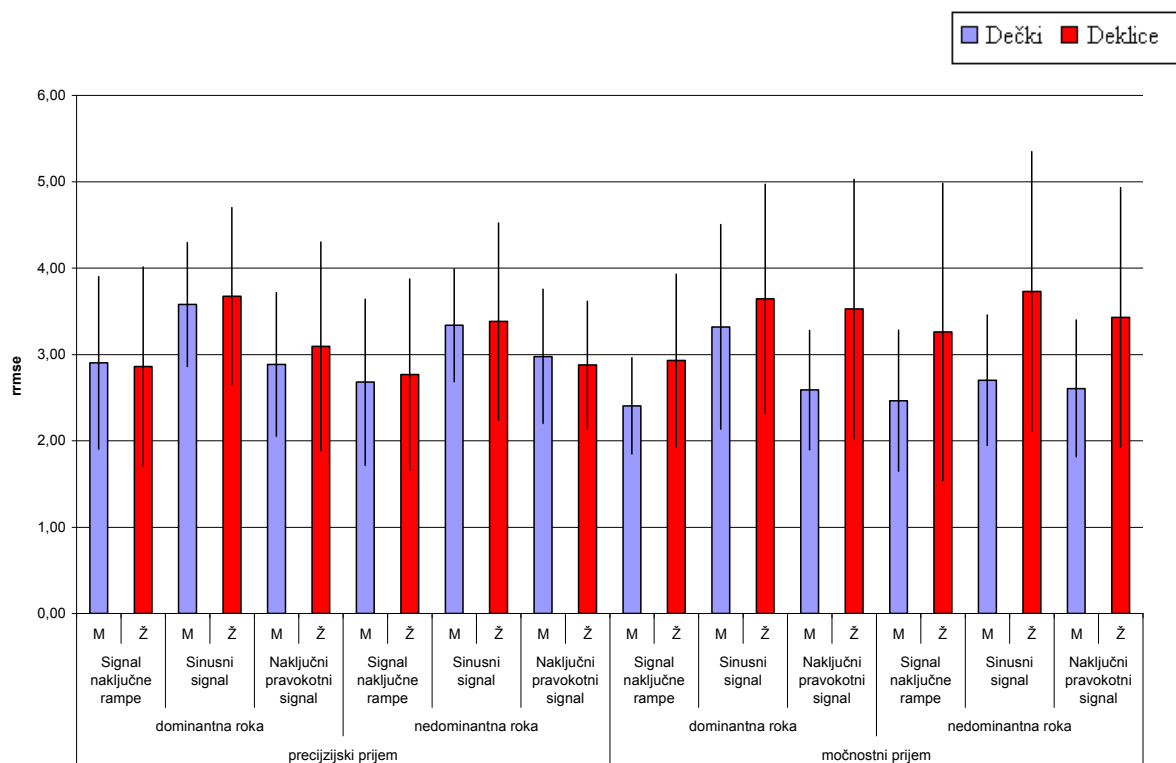
Iz preglednice 12 je s 5 % tveganjem razvidno, da ni statistično pomembne razlike med napakami prijemanja štiriletnikov.

Preglednica 12: Rezultati statistične analize (T – test) primerjave napak prijemanja med spoloma za štiriletnike

Table 12: T – test to compare rmse for both genders of four year old children

prijem	dominantnost roke	želeni potek sile	spol	N	M	standardni odklon	t	df	P
precizijski prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	2,90	1,00	0,099	24	0,922
			Ž	15	2,86	1,15			
		Sinusni signal	M	11	3,58	0,72	-0,261	24	0,796
			Ž	15	3,67	1,03			
		Naključni pravokotni signal	M	11	2,89	0,83	-0,494	24	0,625
			Ž	15	3,10	1,21			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	2,68	0,96	-0,208	24	0,837
			Ž	15	2,77	1,11			
		Sinusni signal	M	11	3,34	0,65	-0,115	24	0,910
			Ž	15	3,38	1,14			
		Naključni pravokotni signal	M	11	2,98	0,78	0,328	24	0,746
			Ž	15	2,88	0,74			
močnostni prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	2,41	0,56	-1,568	24	0,130
			Ž	15	2,93	1,00			
		Sinusni signal	M	11	3,32	1,19	-0,647	24	0,524
			Ž	15	3,64	1,33			
		Naključni pravokotni signal	M	11	2,59	0,69	-1,923	24	0,066
			Ž	15	3,53	1,50			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	2,46	0,82	-1,417	24	0,169
			Ž	15	3,26	1,72			
		Sinusni signal	M	11	2,70	0,76	-1,948	24	0,063
			Ž	15	3,73	1,62			
		Naključni pravokotni signal	M	11	2,61	0,79	-1,656	24	0,111
			Ž	15	3,43	1,50			

Na stolpičnem grafu slike 24 so prikazane napake sledenja štiriletnikov po spolu za vse poteke zelenih sil precizizskega in močnostnega prijema. Z modrim stolpcem so prikazane napake sledenja moškega spola in z rdečim stolpcem napake sledenja ženskega spola.



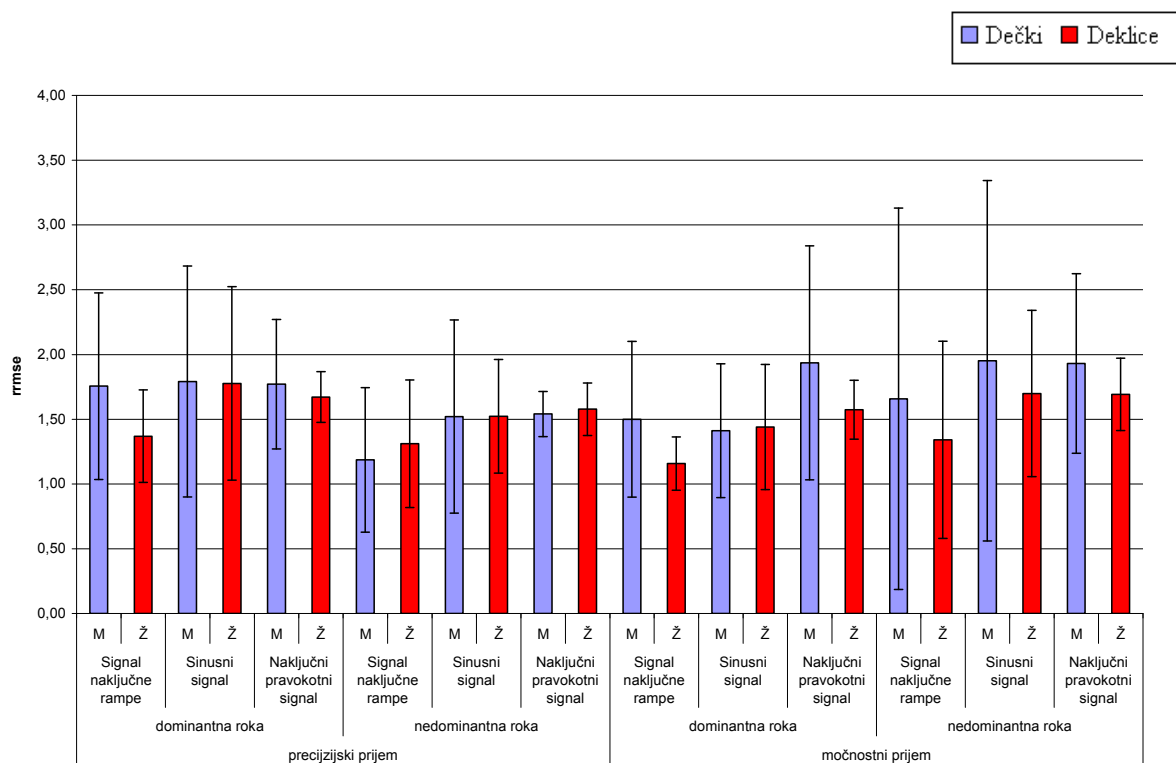
Slika 24: Primerjava napak sledenja med spoloma za štiriletnike za vse poteke zelenih sil obeh prijemov
 Figure 24: Tracking error according to gender for power and precision grips of four year old children

Iz preglednice 13 je s 5 % tveganjem razvidno, da ni statistično pomembne razlike med napakami sledenja šestletnikov.

Preglednica 13: Rezultati statistične analize (T – test) primerjave napak sledenja med spoloma za šestletnike
Table 13: T – test to compare rmse for both genders of six year old children

prijem	dominantnost roke	želeni potek sile	spol	N	M	standardni odklon	t	df	P
precizijski prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	1,76	0,72	1,652	21	0,113
			Ž	12	1,37	0,36			
		Sinusni signal	M	11	1,79	0,89	0,042	21	0,967
			Ž	12	1,78	0,75			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,77	0,50	0,641	21	0,528
			Ž	12	1,67	0,20			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	1,19	0,56	-	21	0,578
			Ž	12	1,31	0,49			
		Sinusni signal	M	11	1,52	0,75	-	21	0,992
			Ž	12	1,52	0,44			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,54	0,17	-	21	0,643
			Ž	12	1,58	0,20			
močnostni prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	1,50	0,60	1,860	21	0,077
			Ž	12	1,16	0,20			
		Sinusni signal	M	11	1,41	0,52	-	21	0,895
			Ž	12	1,44	0,48			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,94	0,90	1,346	21	0,193
			Ž	12	1,57	0,23			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	1,66	1,47	0,656	21	0,519
			Ž	12	1,34	0,76			
		Sinusni signal	M	11	1,95	1,39	0,568	21	0,576
			Ž	12	1,70	0,64			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,93	0,69	1,098	21	0,284
			Ž	12	1,69	0,28			

Na stolpičnem grafu slike 25 so prikazane napake sledenja šestletnikov po spolu za vse poteke zelenih sil precizizskega in močnostnega prijema. Z modrim stolpcem so prikazane napake sledenja moškega spola in z rdečim stolpcem napake sledenja ženskega spola.



Slika 25: Primerjava napak sledenja med spoloma za šestletnike za vse poteke zelenih sil obeh prijemov
Figure 24: Tracking error according to gender for power and precision grips of six year old children

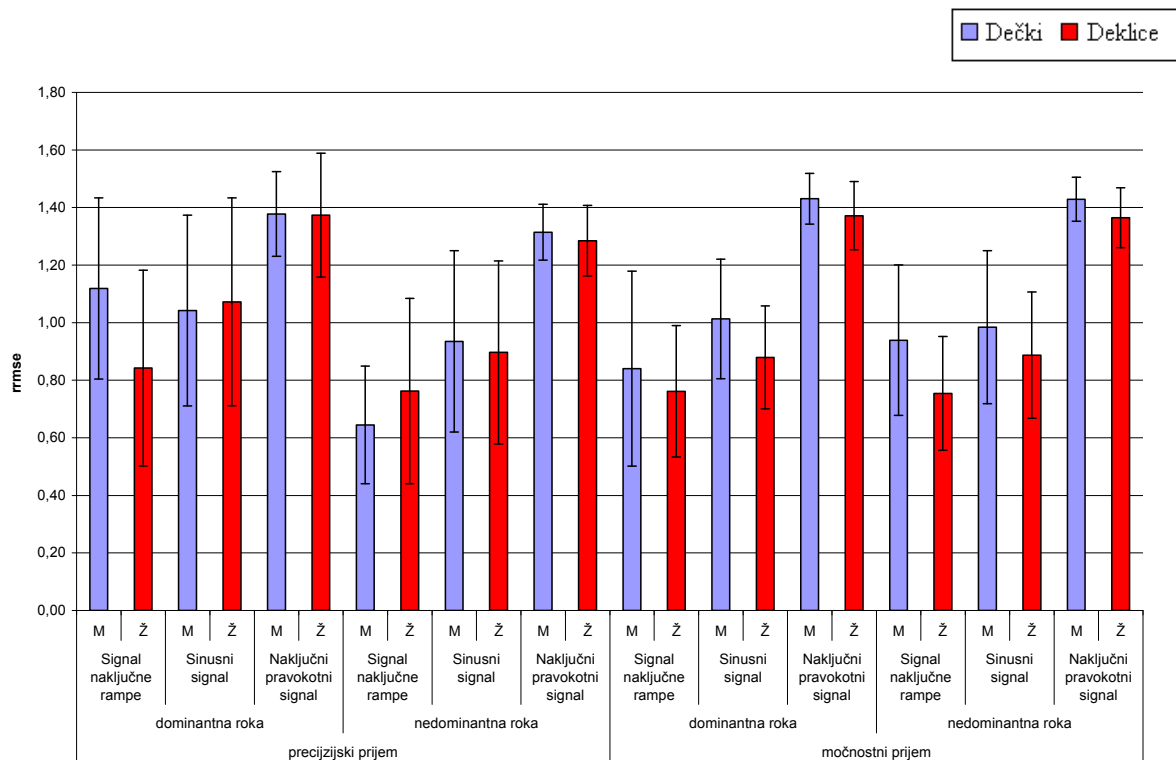
Iz preglednice 14 je s 5 % tveganjem razvidno, da ni statistično pomembne razlike med napakami sledenja devetletnikov.

Preglednica 14: Rezultati statistične analize (T – test) primerjave napak sledenja med spoloma za devetletnike

Table 14: T – test to compare rmse for both genders of nine year old children

prijem	dominantnost roke	želeni potek sile	spol	N	M	standardni odklon	t	df	P
precizijski prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	1,12	0,31	1,979	20	0,062
			Ž	11	0,84	0,34			
		Sinusni signal	M	11	1,04	0,33	-0,204	20	0,840
			Ž	11	1,07	0,36			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,38	0,15	0,054	20	0,958
			Ž	11	1,37	0,22			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	0,64	0,20	-1,024	20	0,318
			Ž	11	0,76	0,32			
		Sinusni signal	M	11	0,94	0,32	0,284	20	0,779
			Ž	11	0,90	0,32			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,31	0,10	0,623	20	0,540
			Ž	11	1,29	0,12			
močnostni prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	0,84	0,34	0,641	20	0,529
			Ž	11	0,76	0,23			
		Sinusni signal	M	11	1,01	0,21	1,616	20	0,122
			Ž	11	0,88	0,18			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,43	0,09	1,329	20	0,199
			Ž	11	1,37	0,12			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	11	0,94	0,26	1,870	20	0,076
			Ž	11	0,75	0,20			
		Sinusni signal	M	11	0,98	0,27	0,934	20	0,362
			Ž	11	0,89	0,22			
		Naključni pravokotni signal	M	11	1,43	0,08	1,645	20	0,116
			Ž	11	1,36	0,10			

Na stolpičnem grafu slike 26 so prikazane napake sledenja devetletnikov po spolu za vse poteke zelenih sil precizizskega in močnostnega prijema. Z modrim stolpcem so prikazane napake sledenja moškega spola in z rdečim stolpcem napake sledenja ženskega spola.



Slika 26: Primerjava napak sledenja med spoloma za devetletnike za vse poteke zelenih sil obeh prijemov
Figure 26: Tracking error according to gender for power and precision grips of nine year old children

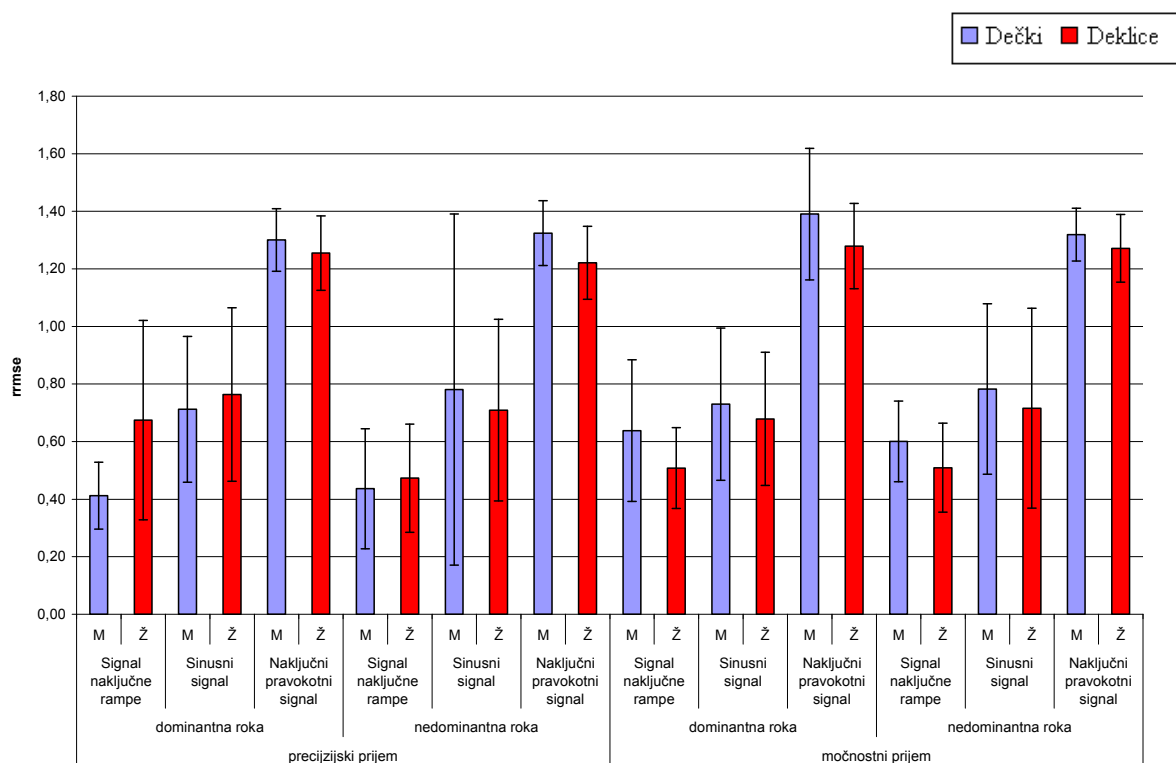
Iz preglednice 15 je s 5 % tveganjem razvidno, da ni statistično pomembne razlike med napakami sledenja štirinajstletnikov.

Preglednica 15: Rezultati statistične analize (T – test) primerjave napak sledenja med spoloma za štirinajstletnike

Table 15: T – test to compare rmse for both genders of fourteen year old children

prijem	dominantnost roke	želeni potek sile	spol	N	M	standardni odklon	t	df	P
precizijski prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	10	0,41	0,12	-2,305	24	0,030
			Ž	16	0,67	0,35			
		Sinusni signal	M	10	0,71	0,25	-0,447	24	0,659
			Ž	16	0,76	0,30			
		Naključni pravokotni signal	M	10	1,30	0,11	0,933	24	0,360
			Ž	16	1,26	0,13			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	10	0,44	0,21	-0,467	24	0,645
			Ž	16	0,47	0,19			
		Sinusni signal	M	10	0,78	0,61	0,395	24	0,697
			Ž	16	0,71	0,32			
		Naključni pravokotni signal	M	10	1,32	0,11	2,097	24	0,047
			Ž	16	1,22	0,13			
močnostni prijem	dominantna roka	Signal naključne rampe	M	10	0,64	0,25	1,723	24	0,098
			Ž	16	0,51	0,14			
		Sinusni signal	M	10	0,73	0,26	0,522	24	0,607
			Ž	16	0,68	0,23			
		Naključni pravokotni signal	M	10	1,39	0,23	1,508	24	0,145
			Ž	16	1,28	0,15			
	nedominantna roka	Signal naključne rampe	M	10	0,60	0,14	1,519	24	0,142
			Ž	16	0,51	0,15			
		Sinusni signal	M	10	0,78	0,30	0,504	24	0,619
			Ž	16	0,72	0,35			
		Naključni pravokotni signal	M	10	1,32	0,09	1,082	24	0,290
			Ž	16	1,27	0,12			

Na stolpičnem grafu slike 27 so prikazane napake sledenja štirinajstletnike po spolu za vse poteke zelenih sil precizizskega in močnostnega prijema. Z modrim stolpcem so prikazane napake sledenja moškega spola in z rdečim stolpcem napake sledenja ženskega spola.



Slika 27: Primerjava napak sledenja med spoloma za štirinajstletnike za vse poteke zelenih sil obeh prijemov
Figure 27: Tracking error according to gender for power and precision grips of fourteen year old children

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Namen naloge je bil oceniti razliko v natančnosti prijemanja med različnimi starostnimi skupinami otrok. Primerjali smo tako močnostni prijem, kot spretnostni prijem. Ocenili smo razliko v natančnosti prijema dominantne in nedominantne roke in preverili ali obstaja kakšna razlika v natančnosti prijemanja med spoloma. Vsaka merjena oseba je izvedla za vsak prijem (močnostni in spretnostni) in za vsako roko (dominantno in nedominantno) po tri različne poteke zelenih sil.

Predvidevali smo, da natančnost močnostnega prijemanja s starostjo otrok narašča (hipoteza 1), oziroma napaka prijemanja, ki smo jo merili pada. To so potrdile tudi naše

meritve. Iz slik 18, 19 in 20 in preglednice 5 je razvidno, da napaka sledenja za vse tri poteke zelene sile s starostjo pada. Največji upad napake sledenja smo zabeležili med štiriletniki in šestletniki. V tem starostnem obdobju zgodnjega otroštva (od treh do šestih let starosti) se mišična rast umirja in začne se hiter razvoj živčnega sistema, kar omogoči hiter razvoj gibalnih spretnosti (Tomazo – Ravnik, 1999). V tem obdobju se zaključuje intenzivna mielinizacija motoričnega sistema. Zato so v tem obdobju zelo pomembne motorične izkušnje, ki utrjujejo novo nastale sinapse (Blows, 2003). Ker se to ne zgodi pri vseh otrocih ob isti starosti, temveč pri različnih otrocih ob različni starosti znotraj obdobja zgodnjega otroštva smo ravno med štiriletniki in šestletniki ugotovili največji upad napake sledenja. Ravno v obdobju med štiri in sedemletniki postaja gibanje otrok mehansko učinkovitejše, bolj ritmično in koordinirano (Škof, 2007). Določen delež večje povprečne vrednosti napake sledenja štiriletnikov lahko pripišemo tudi slabšemu razumevanju nalog. Posledica zgoraj opisanih razvojnih procesov (obdobje konca hitre rasti) je tudi največji standardni odklon pri štiriletnikih, ki kaže na veliko razpršenost vrednosti napak sledenja okoli srednje vrednosti napake sledenja štiriletnikov. Velik delež velikega standardnega odklona bi lahko v prihodnjih raziskavah pojasnili z vprašalnikom o telesni aktivnosti, ki bi preverjal motorične izkušnje štiriletnikov, ki bi jih tako lahko dodatno kategorizirali. Precej manjši upad napake prijemanja smo ugotovili med šest in devetletniki. V tem obdobju, od šestega do desetega leta starosti, se medsebojna odvisnost gibanja prstov postopno zmanjšuje, ko ti dosežejo stopnjo neodvisnosti kot pri odraslih (Nowak in Hermsdorfer, 2009). Upočasnjena dinamika telesne rasti v obdobju od sedem do deset let omogoča dobro sinhronizacijo živčno - mišičnega sistema, kar je ugodno za razvoj tistih gibalnih sposobnosti, kjer je pomembna natančnost nadzora gibanja (Škof, 2007). Najmanjšo razliko napake sledenja smo zaznali med devet in štirinajstletniki. Do te starosti so najbolj burni procesi v razvoju motorike že potekli. V tem obdobju razvoja možganov (deset do dvajset let) dokončno poteče mielinizacija, posledica česar so vedno bolj fini gibi (Blows, 2003). Razvoj gibalnih sposobnosti se zaradi hitre in neenakomerne rasti v obdobju od enajstega do petnajstega leta starosti upočasnjuje, kar je verjetno vzrok tako majhnemu upadu napake sledenja v obdobju med devet in štirinajstletniki. S tem procesom lahko tudi razlagamo rahlo večji standardni odklon napake sledenja štirinajstletnikov v primerjavi z devetletniki pri sinusnem in naključnem pravokotnem poteku zelene sile. Test s sinusnim potekom zelene sile namreč preverja natančnost motorične aktivnosti, test z

naključnim pravokotnim signalom pa hitrost odzivov. Test s potekom signala naključne rampe preverja sposobnost vzdrževanja konstantne sile na določenem nivoju in utrujanje (Kurillo, 2006), zato je tudi najmanj občutljiv na natančnost in hitrost reakcij, ki v tem obdobju zaradi hitre telesne rasti stagnirajo (Škof, 2007). Zato beležimo najmanjši standardni odklon napake sledenja štirinajstletnikov pri signalu naključne rampe. Blank in sodelavci so leta 1999 primerjali statični prijem z vizualno povratno informacijo tri do šestletnikov in odraslih. Ugotovili so, da napaka pri vzdrževanju zahtevane sile prijema pada s starostjo otrok in močno upade po petem letu starosti. Pri odraslih pa ta napaka upade še močneje (Blank in sod., 1999). Raziskava Kurilla in sodelavcev iz leta 2004, ko so primerjali natančnost statičnih in dinamičnih prijemov z vizualno povratno informacijo desetletnikov in odraslih oseb ugotavlja manjšo natančnost prijemanja skupine otrok v primerjavi z odraslimi. Ugotovili so tudi večjo variabilnost natančnosti prijemanja skupine otrok v primerjavi z odraslimi, podobno kot smo mi ugotovili precej večjo variabilnost natančnosti prijemanja štiriletnikov v primerjavi z ostalimi starostnimi skupinami otrok (Kurillo in sod., 2004).

Predvidevali smo, da natančnost precizijskega prijemanja s starostjo otrok narašča (hipoteza 2), oziroma napaka prijemanja, ki smo jo merili pada. To so potrdile tudi naše meritve. Kot vidimo na slikah 21, 22 in 23 in v preglednici 9 napaka sledenja za vse tri poteke zelene sile s starostjo pada. Največji upad napake sledenja smo zopet zabeležili med štiriletniki in šestletniki. Tako kot smo ugotovili pri analizi natančnosti močnostnega prijema, ugotavljamo tudi pri analizi natančnosti precizijskega prijema, da so razlike v napaki sledenja največje med štiri in šestletniki in najmanjše med devet in štirinajstletniki, s čimer potrjujemo hipotezo 2. Tako kot smo že pri močnostnem prijemu rezultate razlagali z razvojem motorike v obdobju od treh do šestih let, lahko podobno razlagamo tudi za precizijski prijem, ki se sicer v razvoju otroka razvije nekoliko kasneje kot močnostni (Nowak in Hermsdorfer, 2009). Do podobnih rezultatov so prišli Kurillo in sodelavci (2004), ko so primerjali napako sledenja precizijskega prijema otrok (devet do enajstletnikov), mlajših odraslih (25 do 35 let) in starejših odraslih (50 do 60 let). Napaka sledenja se je od otrok do mlajših odraslih zmanjšala in zopet povečala pri starejših odraslih. Mi pa smo natančneje raziskali vpliv starosti otrok, saj smo obravnavali več starostnih skupin v otroški in mladostniški dobi.

Predvidevali smo, da je natančnost upravljanja s silo prijemanja z dominantno roko večja kot z nedominantno roko (hipoteza 3). Statistična analiza rezultatov (preglednica 11) je s 5 % tveganjem pokazala, da med dominantno in nedominantno roko ni statistično pomembnih razlik. Torej je naša domneva (hipoteza 3), da je napaka sledenja želenemu poteku sile z dominantno roko manjša od napake sledenja z nedominantno roko, napačna. To lahko delno pojasnimo s tem, da ročnost pri otrocih še ni trdno zasidrana. Ta se utrjuje vse do devetega leta starosti (McManus in sod., 1988). Rezultati statistične obdelave kažejo (slike 18 do 23), da je pri nekaterih nalogah nekoliko manjša napaka prijemanja celo pri nedominantnih rokah. Vse merjene osebe so meritev najprej izvajale z dominantno roko in nato še z nedominantno roko. Ugotovitve lahko pojasnimo tako, da je vzrok naših nepričakovanih meritev v učinku učenja nalog, ko so merjene osebe nalogo najprej izvajale z dominantno roko. Tudi meritev za vajo pred vsakim prijemom je potekala z dominantno roko. Ponavljanje določene naloge, giba, se zapiše v kratkotrajni spomin, ko nastanejo kratkotrajne povezave med živčnimi celicami samo začasno (Škof, 2007), vendar dovolj, da si merjena oseba nalogo zapomni do ponovitve z drugo roko. Ko so merjene osebe nalogo izvajale še z nedominantno roko, je bila naloga tako že bolj usvojena. Učinku učenja bi se v prihodnje lahko izognili z izmeničnim izvajanjem najprej z dominantno roko in pri naslednji osebi z nedominantno roko. Tako bi imeli polovico oseb, ki bi najprej izvajali naloge z nedominantno roko in polovico, ki bi najprej izvajali naloge z dominantno roko in učinek učenja pri celotnem vzorcu bi se izničil. Kurillo in sodelavci (2004) so prišli do enakih zaključkov, ko so primerjali spretnostni prijem otrok, mlajših odraslih in starejših odraslih. Ugotovili so, da med dominantno in nedominantno roko ni statistično pomembnih razlik v natančnosti prijemanja. Raziskava Blanka in sodelavcev leta 1999 je prav tako pokazala, da med dominantno in nedominantno roko ni statistično pomembnih razlik v napakah prijemanja. Tudi raziskava Kurilla in sodelavcev iz leta 2004, ko so primerjali natančnost statičnih in dinamičnih prijemov z vizualno povratno informacijo desetletnikov in odraslih oseb, ni pokazala statistično značilne razlike v natančnosti prijemov dominantne roke in nedominantne roke. V vseh omenjenih raziskavah so meritve izvajali najprej z dominantno in nato z nedominantno roko.

Predvidevali smo, da je natančnost upravljanja s silo prijemanja pri moškem in ženskem spolu enaka (hipoteza 4). Statistična analiza rezultatov je s 5 % tveganjem pokazala, da ni statistično pomembne razlike v natančnosti prijemanja med dečki in deklicami. Kljub statistično nepomembnim razlikam, iz slike 24 razberemo, da so napake prijemanja štiriletnikov nekoliko večje pri deklicah kot pri dečkih. Zlasti je to opazno pri močnostnem prijemu. Pri šest, devet in štirinajstletnikih (slike 25, 26 in 27) pa so napake prijemanja nekoliko večje pri dečkih. Od rojstva do pubertete se razlike med spoloma povečujejo. Deklice napredujejo hitreje kot dečki in v puberteto vstopijo prej kot dečki in jo tudi prej zaključijo (Škof, 2007). Zato pri štiriletnikih dečki še nekoliko prednjačijo pred deklicami pri učinkovitosti prijemov, pri šest, devet in štirinajstletnikih pa rahlo prednjačijo deklice. Od štirinajstega leta dalje fizična aktivnost deklet začenja zaostajati za fanti (Škof, 2007). V obdobju pubertete se pri fantih s starostjo gibalna učinkovitost še vedno povečuje, pri dekletih stagnira ali celo upada (Kovač in sod., 2011). Tisti fantje, ki prehitujejo biološki razvoj vrstnikov so močnejši in učinkovitejši v motoričnih spretnostih. Pri dekletih pa se dogaja celo obratno. Dekleta, ki zaostajajo v biološkem razvoju, dosegajo boljše gibalne rezultate od vrstnic, ki prehitujejo biološki razvoj (Škof, 2007). Osifikacija dlančnic in prstnic je zaključena šele med 18. in 25. letom (Schwartz, 1995). Mišica v dobi odraščanja vse do odrasle dobe pridobiva na moči in učinkovitosti, zato bi bilo v prihodnje smiselno narediti meritve tudi na mladostnikih starejših od štirinajst let in vse tja do obdobja mlajših odraslih (25 do 30 let). Raziskava Blanka in sodelavcev iz leta 1999 prav tako ni ugotovila nobenih statistično pomembnih razlik v natančnosti prijemanja med moškimi in ženskami. Tudi raziskavi Kurilla in sodelavcev iz leta 2004, ko so primerjali napako sledenja precizijskega prijema otrok (devet do enajstletnikov), mlajših odraslih (25 do 35 let) in starejših odraslih (50 do 60 let) in ko so primerjali napako sledenja desetletnikov in odraslih oseb, nista pokazali statistično pomembnih razlik v natančnosti prijemanja moških in ženskih merjenih oseb.

6 POVZETEK

Pomemben del biološkega razvoja človeka je gibalni razvoj, ki je odvisen tako od razvoja živčevja kot od razvoja mišičja in okostja. Ob rojstvu je otrok sposoben le nekaterih refleksnih gibov, z razvojem obeh organskih sistemov se motorične sposobnosti otroka povečujejo. Rast in razvoj od rojstva do odraslosti ne potekata enakomerno, tako tudi gibalni razvoj otroka sledi tej dinamiki. V obdobjih hitre telesne rasti se porušijo telesni proporci in gibalni razvoj se upočasni. Tem obdobjem sledijo obdobja upočasnjene rasti, ko se intenzivno razvija in prilagaja živčevje, kar omogoča hitrejši gibalni razvoj.

Roka je človekovo najpomembnejše orodje, katerega razvoj je v povezavi z možgani omogočil manipulacijo z različnimi objekti. Najpomembnejši del roke, pomemben za razvoj prijemanja, je oponibilen palec. Sposobnost upravljanja s silo prstov je omogočila razvoj različnih prijemov. Prijeme delimo na močnostne in precizijske. Pri močnostnem prijemu je predmet stabilno in močno fiksiran v dlani, površina stika dlani s predmetom je velika. Pri precizijskem prijemu je predmet fiksiran le s prsti in pripravljen za natančno manipulacijo, površina stika roke s predmetom je manjša kot pri močnostnem prijemu. Primer močnostnega prijema, ki smo ga uporabili v raziskavi, je cilindrični prijem, kot primer spretnostnega pa smo uporabili lateralni prijem.

V naši raziskavi smo ovrednotili natančnost upravljanja s silo prijema za močnostni in precizijski prijema pri otrocih različnih starosti. Tako smo sledili gibalnemu razvoju štiri, šest, devet in štirinajstletnikov. Na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani so razvili poseben merilni vmesnik, ki omogoča takšno vrednotenje v povezavi z osebnim računalnikom. Računalnik generira in riše potek zelene sile prijema na zaslonu, ki ji mora otrok, z apliciranjem sile na vmesnik slediti. Merili smo natančnost sledenja poteku zelene sile prijemanja s cilindričnim vmesnikom za močnostni prijem in s ploščatim vmesnikom za precizijski prijem. Računalnik je izračunal relativno povprečno napako sledenja. Manjša kot je napaka, večja je natančnost prijema. Tako smo primerjali natančnost prijemov štiriletnikov, šestletnikov, devetletnikov in štirinajstletnikov. Otroci so sledili trem različnim signalom, ki jih je generiral računalnik in sicer: sinusni signal, signal naključne

rampe in naključni pravokotni signal. Sinusni signal enakomerno narašča in pojema, torej zahteva enakomerno večanje in manjšanje sile prijema. Signal naključne rampe se počasi dviguje in nato vztraja na določeni amplitudi, torej zahteva enakomerno naraščanje sile prijema in nato vztrajanje pri določeni sili, dokler se ta zopet ne spremeni. Naključni pravokotni signal naraste oz. pade v trenutku, torej zahteva hitro reakcijo prilagajanja sile prijema. Vse tri naloge so otroci opravili za obe vrsti prijemov. Na začetku vrednotenja vsakega prijema je otrok opravil preizkus maksimalne sile prijema, s katerim je računalnik prilagodil maksimalno silo, ki je bila potrebna za izvedbo vsake naloge. Ta sila je bila nastavljena na 30 % vrednosti izmerjene pri preizkusu maksimalne sile posameznega otroka. Zanimala nas je tudi sposobnost upravljanja s silo prijemanja dominantne in nedominantne roke, zato je vsak otrok opravljal naloge najprej z dominantno in nato z nedominantno roko. Vzorec je obsegal 97 otrok: 26 štiriletnikov, 22 šestletnikov, 23 devetletnikov in 26 štirinajstletnikov. Napake prijemanja smo primerjali tudi po spolu. V vzorcu je bilo 43 otrok moškega in 54 otrok ženskega spola.

Ugotovili smo, da napaka sledenja za vse tri poteke zelene sile, za močnostni in precizijski prijem, s starostjo otrok pada. Največji upad napake sledenja smo zabeležili med štiriletniki in šestletniki, kar je posledica upočasnitve mišične rasti in hitrega razvoja živčevja v tem starostnem obdobju. Najmanjšo razliko napake sledenja smo zaznali med devet in štirinajstletniki, saj je to čas vstopa v pubertetno obdobje, ki ga označuje hitra in neenakomerna rast, to pa pomeni slabšo živčno - mišično sinhronizacijo. Največjo heterogenost vzorca smo zaznali med štiriletniki, ker je to obdobje konca hitre rasti in razvoja in vsi ne vstopajo v to obdobje istočasno. Statistična analiza je pokazala, da v natančnosti prijemanja med dominantno in nedominantno roko ni statistično značilne razlike, kar je v nasprotju z našimi pričakovanji. Ročnost pri otroku se razvija in utrjuje nekje do devetega leta starosti (McManus in sod., 1988). Verjetno pa je del vzroka tudi v učinku učenja, saj so vsi otroci meritve najprej izvajali z dominantno in nato z nedominantno roko. Raziskava je tudi pokazala, da se natančnost prijemanja med moškim in ženskim spolom statistično značilno ne razlikuje, kar smo tudi pričakovali glede na rezultate preteklih raziskav (Blank in sod., 1999 in Kurillo in sod., 2004).

V raziskavi smo osvetlili gibalni razvoj otrok v obravnavanem starostnem obdobju. V prihodnje bi bilo potrebno bolj natančno raziskati veliko heterogenost vzorca štiriletnikov. Potrebno bi bilo tudi raziskati vpliv starosti na natančnost upravljanja s silo prijema v obdobju starejših mladostnikov in mlajših odraslih, saj je to še vedno obdobje rasti in razvoja. S preprostim poskusom izvajanja nalog sledenja izmenjaje pri polovici vzorca najprej z dominantno in pri polovici najprej z nedominantno roko, bi bilo potrebno preveriti domnevo o vplivu učenja na natančnost prijemanja rok glede na dominantnost roke.

7 SUMMARY

One important aspect of human biological development is the development of motor skills; which depends on nervous and muscular system development. When the child is born, it is capable of some reflex movements. During the development of muscular and nervous systems the motor skills of a child are improved. Growth and development of a child is not constant from birth to adulthood and so the motor skills development follows this dynamic. There are periods of fast physical growth, when the body proportions changes and so motor skill development slows down. In the periods of slower growth there is intense nervous system development and adaptation, making faster motor skill development possible.

The hand is the most important a human tool. Its development in connection with the brain makes manipulation of different objects possible. The most important part of human hand dexterity is the opposed thumb. The abilities of grip force control promoted the development of different grips. Grips can be divided into power and precision grips. The power grip is used when the emphasis is on strength and stability of the object. The contact surface between the object and the hand is large. The precision grip is used when manipulation of an object with high dexterity is required. The object is held only with the fingers. The contact surface between the object and the hand is smaller than with power grip. In our research we used the cylindrical grip as an example of power grip and lateral grip as an example of precision grip.

In our research we assessed the ability of grip force control of power and precision grip in the groups of healthy four, six, nine and fourteen year old children. A special grip force measuring instrument was designed at the Faculty of electrical engineering in Ljubljana. Measurements of the power and the precision grips was made with two special grip handles, one cylindrical for power and one plate shaped for precision grip. The test subject was required to track the presented target by application of force on the device. The movement of force output was presented on a computer screen simultaneously with the target. The accuracy of tracking is assessed by the relative root mean square error (rrmse)

between the target and the measured response. The lower the rmse was, the higher the dexterity of a grip. Test subjects attempted three different tracking tasks generated by the computer: sinus target, ramp target and the rectangular target. The sinus target was designed to assess performance during periodic motor activity, accuracy of tracking and endurance. The ramp target was used to evaluate motor activity with a constant output rate. The rectangular target was used to assess response time. All three tasks were made for both grips and by both hands, dominant and non-dominant. Before assessing each grip the test subject carried out a maximal force output test. This test allowed the computer to adjusted maximal force required to complete the task on 30 % of maximal force assessed by maximal force output test. The test group consisted of 97 test subjects: 26 four year old, 22 six year old, 23 nine year old and 26 fourteen year old children. We also compared rmse of different age and sexual groups of the test subjects. In the sample we had 43 male and 54 female children.

We concluded that the rmse for all three tracking tasks, for both, precision and power grip, decreased with age of children. We measured the greatest decrease of rmse between groups of four and six year old children. This was the result of slower muscular growth and faster development of nervous system between these two age groups. The lowest difference between rmse we measured was between groups of nine and fourteen year old children, which is the period of entering puberty. Puberty is a period of fast and unequal growth which results in weak nervous – muscular synchronisation. The greatest heterogeneity of sample was assessed among the group of four year old children. This is a period when a fast growth phase is ending and not everyone enters this phase at the same age. Statistical analysis showed that there is no statistical difference between rmse of dominant and non-dominant. hand. This was an unexpected result. It is possible that this is because children always performed the task first with the dominant and secondly with non-dominant hand and so remembered the task for their non-dominant hand. There was no statistical difference between male and female children, which we expected to see from previous research (Blank in sod., 1999 in Kurillo in sod., 2004).

In this research we investigated motor skills development of children at selected age groups. Future investigation is need to investigate the high heterogeneity observed in the

four year old age grouping. Further studies also are needed to investigate the influence of age on grip force, in the groups between older children (14 year old) and younger adults, where there is still a period of continued growth and development. In further tests, by having half the test subjects perform the tracking tasks firstly with their non-dominant hand and the other half firstly with the dominant hand we could verify the hypothesis of the influence of learning on non-dominant hand in evaluating the grip force control to domination of the hand.

8 VIRI

- Ahlberg P.E., Clack J.A. 2006. A Firm Step From Water To Land. *Nature*, 440: 747-749
- Bajd B., Kurillo G. 2006. Assessment Of Grip Force Control In Healthy Children And Children With Down Syndrome. V: IFMBE proceedings. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: Imaging The Future Medicine. Magjarevic R., Nagel J. H. (eds.), August 27 – September 1, Seoul, Korea. Berlin, Heidelberg, Springer: 3026 - 3029
- Bajd T., Kurillo G., Šupuk T., Veber M., Zupan A., Munih M. 2006. Merjenje in vrednotenje prijemanja v rehabilitaciji. *Medicinski razgledi*, 45: 191-198
- Blank R., Heizer W., Voss H. 1999. Externally Guided Control Of Static Grip Forces by Visual Feedback - Age And Task Effects In 3±6-Year Old Children And In Adults. *Neuroscience Letters* 271: 41-44
- Blank R., Hezer W., Voss H. 2000. Development Of Externally Guided Grip Force Modulation In Man. *Neuroscience letters*, 286: 187-190
- Blows W.T. 2003. Child Brain Development. *Nursing Times*, 99, 17: 28-31
- Edwards S.J., Buckland D.J., McCoy-Powlen J.D. 2002. Developmental and Functional Hand Grasps. Thorofare, Slack Incorporated Professional Book Division: 128 str.
- Flatt A. E. 2002. Our Thumbs. V: Baylor University Medical Center Proceedings. Dallas, Texas, October 2002. Roberts W. C. (ed.). Dallas: 15, 4: 380-387
- Forsberg H., Eliasson A.C., Kinoshita H., Johansson R.S., Westling G. 1991. Development Of Human Precision Grip I: Basic Coordination Of Force. *Experimental Brain Research*, 85: 451-457

Gallahue D.L., Ozmun J.C. 1998. Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents, Adults. 4th ed. Boston, WCB/McGrawHill: 541 str.

Gordon A.M., Forssberg H., Johansson R.S., Eliasson A.C., Westling G. 1992. Development Of Human Precision Grip III: Integration Of Visual Size Cues During The Programming Of Isometric Forces. *Experimental Brain Research*, 90: 399-403

Harris E. F., Aksharanugraha K., Behrents R. G. 1992. Metacarpophalangeal Length Changes in Humans During Adulthood: A Longitudinal Study. *American Journal of Physical Anthropology*, 87: 263–275

Hill M. 2006. Embryology For K12 Students. UNSW Embryology, New South Wales, UNSW Australia: 321 str.

Kovač M., Leskošek B., Strel J. 2011. Razlike v telesni zmogljivosti slovenskih srednješolcev. V: Zbornik 24. mednarodnega posveta športnih pedagogov Slovenije, November 18–19 2011, 2011, Murska sobota. Kovač M., Plavčak M., Leskošek B. (ur.). Murska Sobota, Zveza društev športnih pedagogov Slovenije: 49-57

Kuret Z., Burger H., Vidmar G. 2015. Influence Of Finger Amputation On Grip Strenght And Objectively Measured Hand Function: A Descriptive Cross-sectional Study. *International Journal of Rehabilitation Research*, 38, 2: 181 - 188

Kurillo G., Bajd T. 2004. Razvoj merilnega sistema za merjenje in ocenjevanje prijemanja pri človeku. *Elektrotehniška revija*, 2: 43-48

Kurillo G., Zupan A., Bajd T. 2004. Force Tracking System For The Assessment Of Grip Force Control In Patients With Neuromuscular Diseases. *Clinical Biomechanics*, 19: 1014-1021

Kurillo G., Bajd B., Pikel V. 2004. Grip Force Control Of Lateral Grip In 10-Year Old Children And Adults. V: *Medicon And Health Telematics 2004: Health In The*

Information Society: Proceedings of the International Federation For Medical And Biological Engineering. Murray A. (ed.), July 31 – August 5 2004, Ischia, Italy: AIIMB & IEEE: 1-4

Kurillo G., Bajd T., Terceelj M. 2004. The effect of age on the grip force control in lateral grip. V: Conference proceedings. 26th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society, September 1-5, San Francisco, California. Danvers, Omnipress: 4657-4660

Kurillo G., Gregorič M., Goljar N., Bajd T. 2005. Grip Force Tracking System For Assessment And Rehabilitation Of Hand Function. *Technology and Health Care*, 13: 137-149

Kurillo G. 2006. Merjenje in ocenjevanje prijemanja v navideznem okolju. Doktorska disertacija, Ljubljana, Fakulteta za Elektrotehniko, Univerza v Ljubljani: 135 str.

Kurillo G., Bajd T., Munih M. 2007. Assessment and Rehabilitation of Hand Function by the Grip Force Tracking Method. V: *New Research on Biofeedback*. Puckhaber H. L. (ed.), New York, Nova Science Publishers: 43 str.

MacKenzie C.L., Iberall T. 1994. *The grasping hand*. Amsterdam, Elsevier: 482 str.

McManus I. C., Sik G., Cole D. R., Mellon A. F., Wong J., Kloss J. 1988. The Development Of Handedness In Children. *British Journal of Developmental Psychology*, 6: 257 – 273

Napier J. R. 1956. The Prehensile Movements Of the Human Hand. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 38: 902 – 913

Napier J. 1993. *Hands*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press: 180 str.

Nowak D.A., Hermsdorfer J. 2009. Sensorimotor Control Of Grasping: Physiology And Pathophysiology. Cambridge, University Press Cambridge: 524 str.

Pallant J. 2005. SPSS Survival Manual: A Step By Step Guide To Data Analysis Using SPSS. Sydney, Allen & Unwin: 354 str.

Pikl V. 2005. Primerjava prijemov med zdravimi otroki in otroki z Downovim sindromom. diplomsko delo, Ljubljana, Pedagoška fakulteta v Ljubljani, Univerza v Ljubljani: 58 str.

Platzer W. 2004. Color Atlas of Human Anatomy. Vol. 1. 5th ed. Kahle W., Platzer W. (eds.). Stuttgart, Thieme: 434 str.

Radman Z. 2013. The Hand, an Organ Of the Mind: What Manual Tells The Mental. Cambridge, Massachusetts Institute Of Technology: 433 str.

Rosenzweig M.R. 1984. Experience, Memory and the Brain. American Psychologist, 39: 365-376

Schlesinger G. 1919. Der Mechanische Aufbau der Künstlichen Glieder, Ersatzglieder und Arbeitshilfen für Kriegsbeschädigte und Unfallverletzte. Berlin, Springer-Verlag: 1119 str.

Schwartz J.H. 1995. Skeleton Keys. Oxford, Oxford University Press: 362 str.

Slovar slovenskega knjižnega jezika. 2000. Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU - el. knjiga. Ljubljana: Založba ZRC
<http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (14. 1. 2015)

Strgar J. 2002. Biologija, Tematski leksikoni. Tržič, Učila International: 489 str.

Škof B. 2007. Šport po meri otrok in mladostnikov. Ljubljana, Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani: 445 str.

Tacol A. 2007. Telesni višina in teža. 1 str.

<http://www.tosemjaz.net/si/clanki/442/detail.html> (14. 1. 2015)

Tanner J. M. 1978. Foetus into Man: Physical Growth From Conception To Maturity. London, Open Books: 250 str.

Tomazo-Ravnik T. 2004. Biološka rast človeka. V: Razvojna psihologija. Marjanovič Umek L. in Zupančič M. (ur.). Ljubljana, Znanstveno raziskovalni inštitut Filozofske fakultete: 119 - 145

Veber M. 2007. Merjenje, modeliranje in vrednotenje kinematičnih lastnosti večprstnega prijemanja. Doktorska disertacija, Ljubljana, Fakulteta za Elektrotehniko, Univerza v Ljubljani: 110 str.

Vetter J. 1990. Hands And Feet - Uniquely Human Right From The Start. Creation, 13: 16 - 17

Wilson F. R. 1998. The Hand: How Its Use Shapes The Brain, Language and Human Culture. New York, Pantheon Books: 416 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. Barbari Bajd, ki me je ves čas spodbujala in ni obupala nad mano.

Zahvaljujem se doc. Stojanu Kostanjevcu za pomoč pri oblikovanju naloge in statistični obdelavi podatkov.

Zahvaljujem se prof. Gregorju Torkarju za svetovanje in pomoč pri statistični obdelavi podatkov.

Zahvaljujem se prof. Romanu Kamniku za temeljit prvi pregled naloge. Je imel veliko dela.

Zahvaljujem se doc. Gregorju Belušiču za pregled naloge in konstruktivne pripombe.

Zahvaljujem se doc. Petri Golja, da si je vzela čas za pregled naloge.

Zahvaljujem se Vesni Ješe Janežič za vselej prijazne napotke.

Zahvaljujem se družini, ki mi je ves čas stala ob strani.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Luka PRAPROTNIK

**MOČ IN SPRETNOST PRIJEMA MED OTROKI
RAZLIČNIH STAROSTI**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2015