

# Analiza brzine reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci

---

**Kotlar, Antonia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Health Studies / Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:573991>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Health Studies - FHSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI/SVEUČILIŠNI STUDIJ  
FIZIOTERAPIJA

Antonia Kotlar

ANALIZA BRZINE REAKCIJE U DOMINANTNOJ I  
NEDOMINANTNOJ RUCI KOD STUDENATA FAKULTETA  
ZDRAVSTVENIH STUDIJA U RIJECI: rad s istraživanjem

Završni rad

Rijeka, 2024.

UNIVERSITY OF RIJEKA  
FACULTY OF HEALTH STUDIES  
UNDERGRADUATE PROFESSIONAL STUDY OF PHYSICAL THERAPY

Antonia Kotlar

ANALYSIS OF REACTION SPEED IN THE DOMINANT AND NON-DOMINANT  
HAND IN STUDENTS OF THE FACULTY OF HEALTH STUDIES IN RIJEKA:  
research

Bachelor thesis

Rijeka, 2024.

Mentor rada: Verner Marijančić, mag. rehab. educ.

Završni rad obranjen je dana 15.07.2024. na Fakultetu zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci, pred povjerenstvom u sastavu:

1. Jasna Lulić Drenjak, prof.
2. Kristijan Zulle, mag. physioth.
3. Verner Marijančić, mag. rehab. educ.

## Izvešće o provedenoj provjeri izvornosti studentskog rada

## Opći podatci o studentu:

Sastavnica	Fakultete zdravstvenih studija
Studij	Prijediplomski stručni studij Fizioterapija
Vrsta studentskog rada	Završni rad
Ime i prezime studenta	Antonia Kotlar
JMBAG	0351013335

## Podatci o radu studenta:

Naslov rada	Analiza brzine reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci
Ime i prezime mentora	Verner Marijančić, mag. rehab. educ.
Datum predaje rada	16. lipanj 2024.
Identifikacijski br. podneska	2405275187
Datum provjere rada	16. lipanj 2024.
Ime datoteke	Zavr_ni_rad_Antonia_Kotlar.docx
Veličina datoteke	2.38 M
Broj znakova	106,946
Broj riječi	17,766
Broj stranica	63

## Podudarnost studentskog rada:

Podudarnost (%)	1 %
-----------------	-----

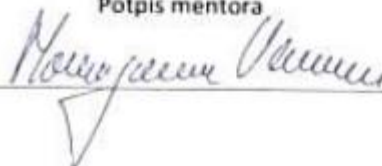
## Izjava mentora o izvornosti studentskog rada

Mišljenje mentora	
Datum izdavanja mišljenja	
Rad zadovoljava uvjete izvornosti	<input checked="" type="checkbox"/> Da
Rad ne zadovoljava uvjete izvornosti	<input type="checkbox"/>
Obrazloženje mentora (po potrebi dodati zasebno)	

Datum

16. lipanj 2024.

Potpis mentora



## SADRŽAJ

<b>POPIS KRATICA</b> .....	1
<b>SAŽETAK</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>1. UVOD</b> .....	8
<b>2. ŽIVČANI SUSTAV</b> .....	9
<b>2.1. Organizacija živčanog sustava</b> .....	9
<b>2.2. Membranski i akcijski potencijal</b> .....	12
2.2.1. <i>Membranski potencijal</i> .....	12
2.2.2. <i>Akcijski potencijal</i> .....	13
<b>2.3. Skeletni mišići</b> .....	14
2.3.1. <i>Građa skeletnih mišića</i> .....	14
2.3.2. <i>Kontrakcija skeletnih mišića</i> .....	15
<b>2.4. Neuronski sklopovi za obradu informacija</b> .....	20
<b>2.5. Nadzor nad mišićnim funkcijama</b> .....	22
<b>2.6. Asocijativna kora</b> .....	23
<b>2.7. Brze reakcije</b> .....	24
<b>2.8. Refleksi</b> .....	28
<b>2.9. Fiziologija sporta</b> .....	32
2.9.1. <i>Učinak sporta na brzinu reakcije</i> .....	33
<b>3. CILJEVI I HIPOTEZE</b> .....	36
<b>4. MATERIJALI I METODE</b> .....	36
<b>4.1. Materijali</b> .....	36
<b>4.2. Postupak i instrumentarij</b> .....	40
<b>4.3. Statistička obrada podataka</b> .....	41
<b>5. REZULTATI</b> .....	41
<b>6. RASPRAVA</b> .....	49
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	52
<b>8. LITERATURA</b> .....	53
<b>9. PRIVITCI</b> .....	56
<b>10. ŽIVOTOPIS</b> .....	60

## **POPIS KRATICA**

ADP: adenzin difosfat

ATP: adenzin trifosfat

g: gravitacijska konstanta

h: visina

m: lat. *musculus* (hrv. mišić)

m/s: metar po sekundi

mV: mili volt

s: sekunda

sur.: suradnici

t: vrijeme

## SAŽETAK

Živčani sustav, u kombinaciji s endokrinim sustavom, predstavlja složen mehanizam za nadzor i koordinaciju gotovo svih funkcija organizma, kao što su primjerice kontrakcija mišića, rad visceralnih organa i izlučivanje hormona. Glavna uloga živčanog sustava jest upravljanje i kontrola ponašanja pomoću prijenosa informacija putem neurona i glija stanica omogućujući percepciju, razumijevanje i adekvatan odgovor na vanjske i unutarnje podražaje. Senzorički dio živčanog sustava koristi sustav receptora za prikupljanje informacija iz okoline i unutrašnjosti organizma. Ovi receptori pretvaraju podražaje kao što su svjetlost, zvuk, temperatura i dodir u električne impulse koji se dalje mogu obrađivati u mozgu. Motorički dio živčanog sustava upravlja odgovorima na obrađene impulse, odnosno tjelesnim aktivnostima, kao što su kontrakcije mišića i sekrecije žlijezda. Strukturalno, živčani sustav podijeljen je na više, srednje i niže razine koje zasebno obuhvaćaju različite dijelove mozga i kralježnične moždine, a odgovorne su za obradu informacija, planiranje pokreta te njihovo izvršavanje.

Na staničnoj razini, za prijenos impulsa između neurona ključni su membranski i akcijski potencijal. Membranski potencijal prisutan je u svakoj stanici zbog razlike u koncentraciji iona s vanjske i unutarnje strane stanične membrane. Akcijski potencijal nastaje uslijed podraživanja stanice, a predstavlja promjenu potencijala unutar stanice. Skeletni mišići su dio lokomotornog sustava i odgovorni su za njegovo pokretanje. Sastoje se od mišićnih vlakana koja sadrže miofibrile odgovorne za kontrakciju mišića, sarkoplazmu koja sadrži mitohondrije potrebne za proizvodnju energije, i sarkoplazmatski retikulum koji regulira mišićne kontrakcije. Količina sarkoplazmatskog retikula ukazuje na sposobnost mišića za brze i eksplozivne kontrakcije.

Osim uloge u kontroli motoričkih aktivnosti, živčani sustav ima ulogu i u kognitivnim funkcijama kao što su mišljenje, pamćenje, učenje i govor. Ovi se procesi obrađuju u različitim strukturama mozga, pretežito u frontalnom režnju, limbičkom sustavu (ključnom kod procesiranja emocija i učenja) i drugim asocijativnim područjima. Organizam se svakodnevno suočava s različitim situacijama koje zahtijevaju brzo procesiranje informacija te sukladno tome i brzo donošenje odluka. Vrijeme reakcije upravo je vrijeme koje je potrebno organizmu da voljno odgovori na određeni podražaj iz unutrašnjosti ili iz okoline. Reakcije su to brže što su situacije više predvidljive. Veliku ulogu u tome igraju učenje i pamćenje. No, postoje i ograničenja u brzini reakcije organizma, a jedno od njih je brzina provođenja impulsa kroz živčane puteve. Složeni motorički zadaci, kao što su aktivnosti u sportu, često zahtijevaju brzu reorganizaciju pokreta, što može biti otežano ukoliko je osoba pretrpjela ozljedu ili ukoliko je prisutno neurološko oštećenje. No, adekvatnom rehabilitacijom i povratkom sportu osoba može



povratiti mogućnost brze promjene pokreta, drugim riječima, može povratiti sposobnost brzih reakcija na podražaje s kojima je suočena.

S druge strane postoje i nevoljne, stereotipne, brze reakcije tiela na osjetne podražaje, a nazivaju se refleksi. Najpoznatiji među njima su spinalni refleksi. Oni se odvijaju pod kontrolom kralježnične moždine u sklopu refleksnog luka. Postoje monosinaptički i polisintaptički refleksi. Primarni refleksi ili neonatalni refleksi koji su prisutni kod novorođenčadi te se gube starenjem. Ukoliko primarni refleksi perzistiraju može se posumnjati na određenu neurološku patologiju. Duboki tetivni refleksi također pomažu u dijagnostici neuroloških stanja.

Sportska aktivnost jedan je od načina na koji osoba može izazvati svoj živčani sustav, ali i cijelo tijelo. Vježbanjem su mišići izloženi povećanom naporu, a živčani sustav sukladno tome mora ubrzano reagirati kako bi podržao zadane aktivnosti. Tjelesnom aktivnošću se također mogu poboljšati i kognitivne sposobnosti, kao i vrijeme reakcije, što je od velike važnosti pri postizanju što boljih sportskih rezultata, ali i u suočavanju sa izazovima svakodnevnog života.

Ovaj završni rad bavi se upravo mjerenjem brzih reakcija promatranjem vremena reakcije pojedinca na vizualni podražaj. Što je vrijeme reakcije kraće, to je brzina reakcije veća. Za potrebe istraživanja uzet je uzorak od 90 ispitanika koji čine 60 studentica i 30 studenata Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci. Studenti i studentice bili su podijeljeni u dvije skupine: sportaši i nesportaši, odnosno sportašice i nesportašice. Od 60 studentica 22 su sportašice, a 38 je nesportašica, dok je od 30 studenata 18 sportaša i 12 nesportaša. Kod svake skupine mjerena je brzina reakcije u dominantnoj ruci i u nedominantnoj ruci pomoću Testa pada ravnala, eng. *Ruler Drop Test*. Također, promatrana je i razlika u brzini reakcije kod studenata i kod studentica.

Rezultati istraživanja pokazuju kako sportaši imaju kraće vrijeme reakcije u dominantnoj (1.26 s) i nedominantnoj ruci (1.33 s) u odnosu na nesportaše (u dominantnoj ruci iznosi 1.44 s, dok u nedominantnoj ruci iznosi 1.50 s). Također, pokazalo se kako studenti imaju kraće vrijeme reakcije u odnosu na studentice i u dominantnoj (prosječno vrijeme reakcije u studenata iznosi 1.27 s, a u studentica iznosi 1.40 s) i u nedominantnoj ruci (prosječno vrijeme reakcije u studenata iznosi 1.41 s, a u studentica iznosi 1.43 s), neovisno o bavljenju odnosno ne bavljenju sportom. Prosječno vrijeme reakcije dominantne ruke studenata pritom iznosi 1.27 s, a nedominantne iznosi 1.41 s, dok prosječno vrijeme reakcije dominantne ruke studentica iznosi 1.40 s, a nedominantne iznosi 1.43 s. Ako se rezultati promatraju s obzirom na spol i na bavljenje, odnosno ne bavljenje sportom, može se uočiti kako

u dominantnoj ruci sportaši imaju kraće vrijeme reakcije (1.20 s) u odnosu na sportašice (1.30 s). Ista situacija može se primijetiti i u usporedbi dominantnih ruku nesportaša i nesportašica, gdje prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci nesportaša iznosi 1.38 s, dok u nesportašica iznosi 1.46 s. Prosječno vrijeme reakcije u nedominantnoj ruci sportaša i sportašica iste je vrijednosti i iznosi 1.33 s. Za razliku od prosječnog vremena reakcije u nedominantnoj ruci sportaša i sportašica, situacija kod nesportaša i nesportašica ide u prilog nesportašicama, gdje se pokazalo kako je prosječno vrijeme reakcije u nedominantnoj ruci nesportašica (1.48 s) kraće u odnosu na prosječno vrijeme reakcije u nedominantnoj ruci nesportaša (1.54 s).

**Ključne riječi:** reakcije, refleksi, sport

## **ABSTRACT**

The nervous system, in combination with the endocrine system, represents a complex mechanism for monitoring and coordinating almost all functions of the organism, such as muscle contraction, visceral organ function and hormone secretion. The main role of the nervous system is to manage and control behavior through the transmission of information via nervous and glial cells, enabling perception, understanding and appropriate responses to external and internal stimuli. The sensory part of the nervous system utilizes a system of receptors to gather information from the environment and the interior of the body. These receptors convert stimuli such as light, sound, temperature and touch into electrical impulses that can be further processed in the brain. The motor part of the nervous system governs responses to processed impulses, i.e., bodily activities such as muscle contractions and gland secretions. Structurally, the nervous system is divided into higher, middle and lower levels, each separately encompassing different parts of the brain and spinal cord, responsible for information processing, movement planning and execution.

At the cellular level, membrane and action potentials are crucial for transmitting impulses between neurons. The membrane potential is present in every cell due to differences in ion concentration across the cell membrane. The action potential occurs due to cell stimulation and represents a change in potential within the cell. Skeletal muscles are part of the locomotor system and are responsible for its movement. They consist of muscle fibers containing myofibrils responsible for muscle contraction, sarcoplasm containing mitochondria necessary for energy production, and sarcoplasmic reticulum that regulates muscle contractions. The amount of sarcoplasmic reticulum indicates the ability of muscles for fast and explosive contractions.

Besides its role in controlling motor activities, the nervous system also plays a role in cognitive functions such as thinking, memory, learning and speech. These processes are processed in different brain structures, predominantly in the frontal lobe, limbic system (key in emotion processing and learning), and other associative areas. The organism faces various situations daily that require rapid information processing and decision-making. Reaction time is precisely the time it takes for the organism to consciously respond to a specific stimulus from within or from the environment. Reactions are faster when situations are more predictable. Learning and memory play a significant role here. However, there are limitations to the speed of the organism's reaction, one of which is the speed of impulse conduction through nerve pathways. Complex motor tasks, such as sports activities, often require rapid movement

reorganization, which can be challenging if a person has suffered an injury or neurological damage.

On the other hand, there are also involuntary, stereotypical, rapid reactions of the body to sensory stimuli, known as reflexes. The most famous among them are spinal reflexes. They occur under the control of the spinal cord as part of the reflex arc. There are monosynaptic and polysynaptic reflexes. Primary reflexes or neonatal reflexes are present in newborns and are lost with age. If primary reflexes persist, neurological pathology may be suspected. Deep tendon reflexes also help with diagnosing neurological conditions.

Sports activities are a way a person can challenge their nervous system and their whole body. Through exercise, muscles are exposed to increased exertion and the nervous system must respond rapidly to support these activities. Physical activity can also improve cognitive abilities and reaction time, which is essential for achieving better sports results and coping with the challenges of everyday life.

This final paper deals precisely with measuring reaction time. For research purposes, a sample of 90 participants was taken, consisting of 60 female and 30 male students of the Faculty of Health Studies in Rijeka. Students were divided into two groups: male athletes and non-athletes, and female athletes and non-athletes. Out of 60 female students, 22 were athletes, and 38 were non-athletes, while out of 30 male students, 18 were athletes and 12 were non-athletes. Reaction time was measured in the dominant and non-dominant hands using the Ruler Drop Test. Additionally, differences in reaction time between male and female students were observed.

Results indicate that athletes have shorter reaction time in both dominant (1.26 sec) and non-dominant hand (1.33 sec) compared to non-athletes (with reaction times of 1.44 sec in the dominant hand and 1.50 sec in the non-dominant hand). It has also been shown that male students have shorter reaction time compared to female students in both dominant (with average reaction times of 1.27 sec for male students and 1.40 sec for female students) and non-dominant hand (with average reaction times of 1.41 sec for male students and 1.43 sec for female students), regardless of whether they engage in sports or not. The average reaction time of the dominant hand in male students is 1.27 sec, and of the non-dominant hand, it is 1.41 sec, while the average reaction time of the dominant hand in female students is 1.40 sec, and of the non-dominant hand, it is 1.43 sec. When considering the results in terms of gender and engagement in sports, it can be observed that male athletes have shorter reaction time in their dominant hand (1.20 sec) compared to female athletes (1.30 sec). The same situation can be observed when comparing the dominant hands of non-athletes, where the average reaction time

in the dominant hand of male non-athletes is 1.38 sec, while for female non-athletes, it is 1.46 sec. The average reaction time in the non-dominant hand of both male and female athletes is the same, at 1.33 sec. In contrast, for non-athletes, female non-athletes have a shorter average reaction time in the non-dominant hand (1.48 sec) compared to male non-athletes (1.54 sec).

**Key words:** reactions, reflexes, sport

## 1. UVOD

Mjerenjem vremena reakcije dobiva se uvid u brzinu kojom organizam daje svjestan odgovor na određeni stimulans, odnosno podražaj. Brzina reakcije organizma široko je istraživana u mnogim aspektima života, jer upravo njena brzina reakcije može imati presudan učinak na organizam, ali i na okolinu, primjerice, reakcija sporija od normalne u tijeku vožnje može rezultirati lošim ishodom. Mnogo se faktora pokazalo kako utječu na vrijeme reakcija, uključujući starost osobe, spol, fizička spremnost, zamor, distrakcija, alkohol, osobnost ispitivane osobe te ukoliko je podražaj koji se primjenjuje auditorni ili vizualni (1, 2).

Brze reakcije često se zamjenjuju s refleksnim reakcijama, odnosno refleksima, iako su ta dva pojma različita. Za razliku od brzih reakcija, refleksi su nesvjesne, znatno brže reakcije organizma na podražaj iz okoline ili unutrašnjosti tijela. Refleksi su prirođeni, no može doći do odsutnosti prilikom rođenja ili gubitka zbog ozljede ili bolesti. S druge strane, brze reakcije mogu se vremenom i učenjem steći i uvježbati. Učenjem postupanja se vrijeme reakcije može dodatno smanjiti jer osoba vremenom postaje više svjesna okolnosti u kojima se zahtijeva njezina reakcija (3, 4).

Istraživanje Aydin i sur. pokazuje kako postoji značajna razlika u brzini reakcije dominantne i nedominantne ruke kod studenata koji se bave sportom i studenata koji se ne bave sportom, kao i da postoji razlika u brzini reakcije u nedominantnoj ruci kod studenata koji se bave individualnim sportom i studenata koji se bave grupnim sportom. Također, dokazalo se kako redovita tjelesna aktivnost općenito ima pozitivan učinak u povećanju brzine reakcije (5).

U istraživanju Jha i sur. pokazalo se kako su reakcije ispitanica brže od reakcija ispitanika (6).

Istraživanjem se nastoji prikazati postoji li povezanost između bavljenja sportom i brzine reakcija organizma na vanjske podražaje s obzirom na činjenicu da one mogu biti važne u svakodnevnom životu. Obratit će se pozornost na vizualni podražaj te postoji li razlika u vremenu reakcije dominantne i nedominantne ruke kod osoba koje se bave sportom i osoba koje se ne bave sportom.

## 2. ŽIVČANI SUSTAV

U suradnji s endokrinim sustavom, živčani sustav nadzire i izvršava gotovo sve tjelesne funkcije kao što su: brze aktivnosti tijela (kontrakcije mišića), visceralne aktivnosti i sekrecija određenih žlijezda. Jedinstven je obzirom na izrazitu složenost svojih struktura i mehanizama kojima svakodnevno obrađuje informacije primljene iz okoliša ili unutrašnjosti tijela te sukladno tome određuje kako će tijelo reagirati (3).

Glavna uloga živčanog sustava jest kontrola ponašanja, odnosno kontrola djelovanja ka postizanju željenih ciljeva i izvršavanju vlastitih potreba. Može se podijeliti na aferentni odnosno ulazni dio, središnji odnosno integrativni dio te eferentni odnosno izlazni dio. Način na koji živčani sustav dobiva informacije iz vanjskog svijeta i iz unutrašnjosti tijela jest preko receptora, odnosno preko interoceptora, eksteroceptora i proprioceptora. Interoceptori donose informacije o promjeni stanja unutar organizma, eksteroceptori donose informacije o promjenama na površini tijela ili u okolini, a proprioceptori, smješteni u unutarnjem uhu i na površini tijela, obavještavaju središnji živčani sustav o promjenama položaja tijela u odnosu na okolinu (7).

### 2.1. Organizacija živčanog sustava

Osnovna gradivna i funkcijska jedinica središnjeg živčanog sustava je neuron, odnosno živčana stanica. Ona se sastoji od aksona, dendrita, mijelinske ovojnice i jezgre (3).

Grada središnjeg živčanog sustava sastoji se od dviju vrsti stanica: neuroni i glija stanice ili potporne stanice. Glija stanice podijeljene su na makrogliju (astrociti i oligodendrociti), endodimske stanice i mikrogliju, a mogu graditi i do polovice obujma moždanog tkiva. Astrociti imaju bitnu ulogu u održavanju normalnih vrijednosti iona i pH vrijednosti vanstanične tekućine te imaju ulogu u prijenosu tvari između kapilara i neurona. Oligodendrociti grade mijelinsku ovojnicu koja obavija aksone neurona u središnjem živčanom sustavu. Endodimske stanice obavijaju moždane komore te sudjeluju u protoku likvora i prenose tvari između likvora i krvi. Periferni živčani sustav sastoji se od dvije vrste glija stanica: Schwannove stanice, koje grade mijelinsku ovojnicu aksona u perifernom živčanom sustavu, i satelitske ili kapsularne stanice, koje obavijaju tijelo neurona u perifernim ganglijima (7).

Informacija se iz tijela i iz okoline prenosi u obliku impulsa putem sinaptičkih spojeva. Impuls tada ulazi u neuron preko dendrita, a dalje se na sljedeći neuron prenosi preko aksona. Aksoni neurona mogu biti obavijeni mijelinskom ovojnicom. Ona omogućuje brže prenošenje živčanog impulsa kroz neuron, kao i veću distancu kojom se impuls pasivno širi. Deblja

mijelinska ovojnica rezultira bržoj kondukciji i većoj šansi za širenje akcijskog potencijala. Periferni aksoni podijeljeni su u grupe ovisno o njihovom promjeru i o brzini provođenja impulsa. U uporabi su dva klasifikacijska sistema aksona. Prvi koristi oznake slovima te se primjenjuje i za aferentne i za eferentne aksone, dok drugi koristi oznake rimskim brojevima te se koristi samo za aferentne aksone (Tablica 1). Mijelinizirani aksoni imaju male udubine na svojoj površini, raspoređene na svakih 1 do 2 milimetra, koje nisu prekrivene mijelinskom ovojnicom, a nazivaju se *Ranvijerovi čvorovi*. Ove tvorbe bogate su natrijevim i kalijevim kanalima, a omogućuju aktivno širenje akcijskog potencijala tako što dozvoljavaju protok iona kroz membranu. Impuls se brzo širi duž mijelinizirane regije, a zatim usporava prelaženjem visokokapacitivne nemijelinizirane regije, odnosno *Ranvierova čvora*. Visoki kapacitet na čvoru pohranjuje naboj potreban za stvaranje akcijskog potencijala. Kako čvor postaje depolariziran, otvaraju se natrijevi kanali, generirajući novi akcijski potencijal i širenje iona duž akson do sljedećeg čvora. Posljedično, širenje impulsa mijeliniziranim aksonom doima se kao brzo poskakivanje impulsa s jednog čvora na drugi što se naziva skokovito provođenje. Širenje akcijskog potencijala u mijeliniziranom aksonu zahtijeva da se novi akcijski potencijal iznova generira na svakom Ranvierovom čvoru te se kao takav prenosi dalje duž mijelinsku ovojnicu aksona. Na taj način akcijski potencijal održava svoju veličinu i oblik dok prolazi duž akson (8).

**Tablica 1:** Grupiranje aksona

Akson	Brzina provođen ja impulsa (m/s)	Promjer aksona ( $\mu$ m)	Eferentni aksoni		Aferentni aksoni	
			Grupa	Inervacija	Grupa	Inervacija
Jako mijelinizirani	70-130	12-20	A $\alpha$	Ekstrafuzalna mišićna vlakna	Ia, Ib, II	Vretena, Golgi tetivni organ, receptori za dodir i pritisak
Srednje mijelinizirani	12-45	3-6	A $\gamma$	Intrafuzalna mišićna vlakna		
Slabo mijelinizirani	12-30 3-5	2-10 1-5	B	Presinaptička autonomna	A $\delta$	Bol, visceralni receptori, temperatura
Nemijelinizirani	0.2-2.0	0.4-1.2	C	Postsinaptička autonomna	C	Bol, visceralni receptori, temperatura

Senzorički dio živčanog sustava sastoji se od mnoštva osjetnih receptora smještenih po cijelom tijelu, a dijele se u nociceptore, mehanoreceptore, fotoreceptore, kemoreceptore i



termoreceptore. Primljeni podražaj iz okoline može izazvati trenutnu reakciju organizma, ali isto tako se može i pohraniti u mozgu u obliku sjećanja te na taj način kasnije uzrokovati reakcije. Nakon što je tijelo primilo podražaj, on u obliku impulsa odlazi u određena osjetna područja: kralježničnu moždinu, produljenu moždinu, pons, mezencefalon, mali mozak, talamus te u osjetne centre kore velikog mozga. Ondje se primljeni podražaj obrađuje i stvara se svijest o kvaliteti i kvantiteti podražaja.

Motorički dio živčanog sustava nastupa nakon što se primljena informacija obradila ili neposredno nakon prihvaćanja podražaja ukoliko se radi o refleksnim reakcijama organizma. Ovim putem živčani sustav ispunjava svoju konačnu ulogu, odnosno kontrolu tjelesnih aktivnosti: kontrakcija skeletnih mišića, kontrakcija glatkih mišića, lučenje egzokrinih i endokrinih žlijezda. Skeletnim mišićima, koji su u konačnici potrebni za izvršavanje brze reakcije na vanjske podražaje, upravljaju razne razine središnjeg živčanog sustava između kojih su i kralježnična moždina, retikularna tvar produžene moždine, ponsa i mezencefalona, bazalni gangliji, mali mozak te motorička kora velikog mozga. Prema djelovanju, ove se strukture mogu podijeliti na niže i više dijelove središnjeg živčanog sustava.

Niži dijelovi središnjeg živčanog sustava obuhvaćaju kralježničnu moždinu, produljenu moždinu, pons, mezencefalon, hipotalamus, talamus, mali mozak i bazalne ganglije, a sudjeluju u automatskim, trenutnim i takozvanim podsvjesnim reakcijama organizma.

Viši dijelovi središnjeg živčanog sustava obuhvaćaju koru velikog mozga i sve njezine centre. Ovdje se obrađuju informacije, razvija se mišljenje i na temelju dobivenih rezultata organizam reagira na podražaj. Ovakve su reakcije znatno sporije od automatskih pošto zahtijevaju dužu obradu, no isto tako ostavljaju prostora za pohranjivanje informacija i učenje kako bi u ponovljenoj situaciji organizam znao kako reagirati što bi u krajnosti i smanjilo vrijeme reakcije (3).

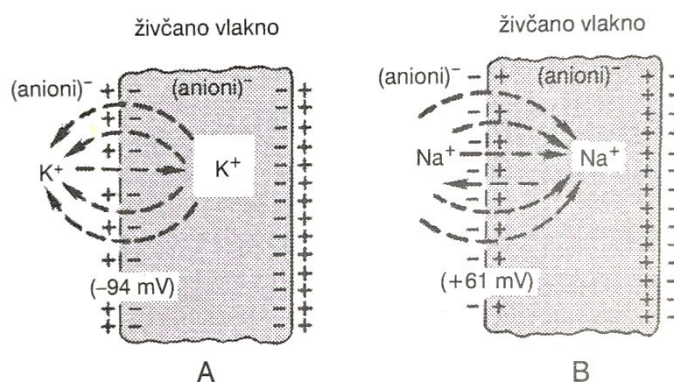
Hijerarhija živčanog sustava također se može pojasniti kroz visoke, srednje i niske razine. U najviše razine spada prefrontalni asocijativni korteks. Do njega dopiru informacije iz ostalih moždanih struktura te iz parijetalnog korteksa, a uloga mu je izrada složenih planova sukladno namjerama. U srednju razinu živčanog sustava spadaju sekundarno motoričko područje, osjetna kora velikog mozga, primarni motorički korteks, mali mozak, bazalni gangliji te jezgre moždanog debla. Funkcija ovih struktura je pretvaranje složenijih planova u jednostavnije i manje motoričke programe kako bi se izvršio pokret. Ovi se programi pojednostavljaju u podprograme kako bi se bolje odredila kontrakcija odabranih mišića, odnosno pokreti u određenim zglobovima. Kada su podprogrami formirani, oni se dalje šalju u najniže razine živčanog sustava. U niske razine živčanog sustava spadaju moždano deblo i

kralježnična moždina koja se dalje grana na periferne živce. Funkcija niskih razina jest inervacija mišića za njihovu kontrakciju, a samim time i izvršavanje programa formiranih u srednjoj razini živčanog sustava (9).

## 2.2. Membranski i akcijski potencijal

### 2.2.1. Membranski potencijal

Membranski potencijal postoji u gotovo svim stanicama organizma, a može se javiti u mirovanju i pri obavljanju neke aktivnosti. Bitan je za stvaranje i prijenos impulsa s jednog neurona na drugi, a nastaje kada postoji razlika u koncentraciji iona s vanjske i unutarnje strane membrane. To se može vidjeti na primjeru sa Slike 1.



**Slika 1:** Prikaz difuzijskog potencijala

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici.

Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

U slučaju A na Slici 1. koncentracija kalijevog iona u stanici veća je nego van stanice. Kako bi se uspostavila ravnoteža, dio pozitivnih kalijevih iona izlazi van stanice procesom difuzije kroz polupropusnu membranu te nastaje vanjska elektropozitivnost. Pritom negativni preostali ioni ostaju unutar stanice pa se unutar stanice javlja elektronegativnost. Ova promjena u nabijenosti unutarstaničnog i vanstaničnog prostora odbija kalijeve ione koji izlaze van pa oni mijenjaju smjer – kreću se prema unutra. U trenutku kada promjena potencijala postane velika, zaustavlja se difuzija kalijevih iona prema van stvarajući unutarnju elektronegativnost u vrijednosti 94 mV.

U slučaju B prikazana je ista situacija, samo na primjeru iona natrija. Sada se javlja velika količina natrijevih iona van membrane, odnosno vanjska elektropozitivnost te mala količina natrijevih iona unutar stanice, odnosno unutarnja elektronegativnost. Suprotno od

prethodnog slučaja, ioni natrija difuzijom kroz polupropusnu membranu putuju u stanicu stvarajući membranski potencijal suprotne polarnosti, elektronegativnost van stanice i elektropozitivnost unutar stanice. Ponovno, u trenutku kada promjena potencijala postane dovoljno velika, zaustavlja se difuzija natrijevih iona stvarajući unutarnju elektropozitivnost u vrijednosti od 61 mV.

Membranski potencijal mirovanja postoji u živčanim stanicama kada se ne prenose impulsi. On iznosi oko -90 mV, što znači da prilikom mirovanja unutar neurona postoji elektronegativnost u vrijednosti od 90 mV, dok je u vanstaničnoj tekućini prisutna elektropozitivnost. U skeletnim mišićima, ova vrijednost proteže se od oko -80 do -90 mV, što je ekvivalentno potencijalu u mijeliniziranim živčanim vlaknima. Karakteristična pojava u ovom slučaju je aktivni prijenos natrijevih i kalijevih iona kroz membranu, tzv.  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  crpka. Ovim mehanizmom izbacuje se više pozitivnih iona nego što ih se ubacuje, preciznije, za svaka tri natrijeva iona koja izađu iz stanice, dva kalijeva iona uđu u stanicu. Time se stvara manjak pozitivnih iona unutar stanice te je stoga u istoj prisutan negativni naboj.

Membranski potencijal može se izmjeriti pomoću mioelektrode i indiferentne elektrode na način da se mioelektrodom probije stanična membrana, a indiferentnom elektrodom se prodre do vanstanične tekućine te se na kraju pomoću voltmetra izmjeri razlika potencijala unutarnje i vanjske strane membrane (3).

### 2.2.2. Akcijski potencijal

Akcijski potencijal odgovoran je za prijenos impulsa, a rezultat je brzih promjena membranskog potencijala. U skeletnom mišiću, akcijski potencijal traje od 1 do 5 milisekundi, što je gotovo pet puta dulje u odnosu na mijelinizirana živčana vlakna. Brzina provođenja jest od 3 do 5 m/s, što predstavlja gotovo 1/18 brzine provođenja u mijeliniziranim živčanim vlaknima. Započinje promjenom negativnog membranskog potencijala mirovanja u pozitivni membranski potencijal, a završava ponovnim brzim vraćanjem iz pozitivnog membranskog potencijala u negativni membranski potencijal. Sukladno tome, ove promjene dijele se u tri faze: faza mirovanja, faza depolarizacije i faza repolarizacije.

Faza mirovanja predstavlja membranski potencijal živčane stanice u mirovanju. U ovoj fazi stanica je polarizirana, odnosno postoji visok iznos negativnog naboja unutar stanice.

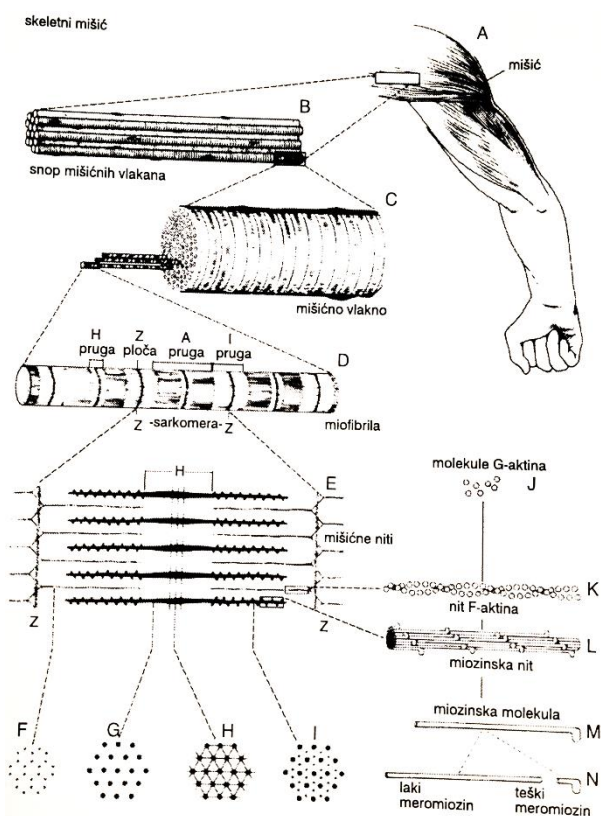
U fazi depolarizacije impuls ulazi u stanicu. To uzrokuje promjenu potencijala u stanici i vanstaničnoj tekućini. Stanična membrana postaje propusna za natrijeve ione koji sada ulaze u stanicu donoseći pozitivni naboj.

U fazi repolarizacije impuls izlazi van iz stanice. Pošto je stanična membrana postala izrazito propusna za natrijeve ione, natrijevi kanali na staničnoj membrani se zatvaraju, a otvaraju se kalijevi kanali, što dovodi do difuzije kalija prema van i vraćanja negativnog membranskog potencijala (3, 7).

## 2.3. Skeletni mišići

### 2.3.1. Građa skeletnih mišića

Skeletni mišići sagrađeni su od mišićnih vlakana, a svako vlakno ima svoje zasebne podjedinice. Mišićno vlakno sastoji se od sarkoleme, miofibrila, sarkoplazme i sarkoplazmatskog retikula. Građa skeletnog mišića prikazana je na Slici 2.



**Slika 2:** Prikaz građe skeletnog mišića

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici. Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

Sarkolema je naziv za staničnu membranu koja obavija mišićno vlakno. Građena je od plazmatske membrane s unutarne strane te tankog sloja polisaharida s vanjske strane. U tom tankom sloju nalazi se mnoštvo kolagenskih vlakana koja mišiću daju čvrstoću i elastičnost.

Pri završetku mišićnog vlakna, vanjski sloj sarkoleme stapa se s tetivnim vlaknom koje se dalje zajedno s ostalim tetivnim vlaknima spaja za kost (3).

Miofibrile, ili mišićna vlakanca, su građevne jedinice mišićnih vlakana u obliku štapića. Sastoje se od niti aktina i miozina, gusto posloženih jedna do druge, međusobno se preklapajući na svojim krajevima, a služe za kontrakciju mišića. Niti miozina deblje su od niti aktina te se stoga na snimci elektronskog mikroskopa vide kao tamne i svijetle pruge. Svijetle pruge, odnosno niti aktina također se nazivaju i I-pruge zbog svojeg izotropnog svojstva prema polariziranoj svjetlosti. Tamne pruge, odnosno niti miozina nose naziv i A-pruge zbog svojeg anizotropnog svojstva prema polariziranoj svjetlosti. Također, na nitima miozina uočljivi su i takozvani poprečni mostovi koji se prikazuju kao izbočine duž niti. Do kontrakcije dolazi u trenutku interakcije poprečnih mostova i niti aktina (3).

Krajevi niti aktina učvršćeni su za takozvanu Z-ploču koja sukladno tome označava početak prožimanja niti aktina ka nitima miozina. Još jedna uloga Z-ploče jest povezivanje susjednih miofibrila duž cijelog mišićnog vlakna. Između dvije susjedne Z-ploče nalazi se sarkomera (3). Ona je odsječak miofibrile koji se uzastopno ponavlja te predstavlja osnovnu kontraktilnu jedinicu poprečno prugastih mišića (10).

Sarkoplazma predstavlja matriks koji se nalazi s unutarnje strane sarkoleme. Unutar sarkoplazme nalaze se miofibrile. Sastoji se od minerala poput kalija, magnezija, fosfata te enzima bjelančevina. Također sadrži i mnoštvo mitohondrija rasprostranjenih između miofibrila. Oni su esencijalni za proizvodnju adenzintrifosfata (ATP) potrebnog za proizvodnju energije kako bi se postigla kontrakcija mišića (3).

Sarkoplazmatski retikul jest naziv za endoplazmatski retikul smješten u mišićnim vlaknima. Njegova važnost leži u nadgledanju kontrakcije mišića. Mišićima sklonim brzim i eksplozivnim kontrakcijama bit će potrebna veća količina sarkoplazmatskog retikula. Može se zaključiti kako je prisutnost sarkoplazmatskog retikula indikator brzih mišićnih kontrakcija (3).

### *2.3.2. Kontrakcija skeletnih mišića*

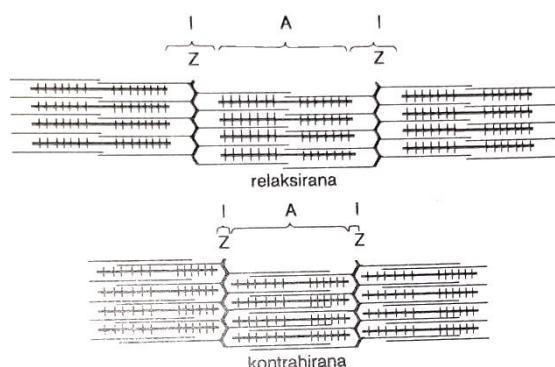
Kao što je ranije spomenuto, za kontrakciju mišića potreban je akcijski potencijal, odnosno impuls. On do mišića dolazi putem motoneurona. Svaki motoneuron inervira veći broj mišićnih vlakana, a sva mišićna vlakna inervirana od strane jednog motoneurona naziva se motorička jedinica. Sukladno tome, manji mišići koji zahtijevaju veću preciznost i brže reakcije imaju u svakoj pojedinoj motoričkoj jedinici jako mali broj mišićnih vlakana, dok veći mišići koji su odgovorni za grube pokrete imaju u pojedinoj motoričkoj jedinici i do par stotina mišićnih vlakana. Motoričke se jedinice međusobno isprepleću što omogućuje jednoj

motoričkoj jedinici da svojom kontrakcijom potpomogne kontrakciju druge motoričke jedinice.

Tijek mišićne kontrakcije objašnjava se kroz sljedećih osam koraka:

1. Motorički živac doprema akcijski potencijal do svojih živčanih krajeva na neuromuskularnoj spojnici na motoričkoj jedinici koju inervira.
2. Na živčanim krajevima motoričkog živca oslobađa se neurotransmiter acetilkolin.
3. Acetilkolin djeluje na membranu mišićnog vlakna koja otvara acetilkolinske kanale.
4. Acetilkolinski kanali omogućuju natrijevim ionima ulazak u mišićno vlakno, što potiče proces stvaranja akcijskog potencijala u mišićnom vlaknu.
5. Akcijski potencijal prolazi cijelom dužinom stanične membrane mišićnog vlakna.
6. Membrana mišićnog vlakna se uz prisutstvo akcijskog potencijala depolarizira, a on dalje prolazi u dubinu mišićnog vlakna. Ovo potiče sarkoplazmatski retikul na oslobađanje iona kalcija u miofibrile.
7. Ioni kalcija potiču privlačne sile koje djeluju na aktinske i miozinske niti. Ovo uzrokuje međusobno klizanje između tih niti i to predstavlja kontraktilni proces.
8. Nakon nekoliko milisekundi kalcijaska crpka vraća ione kalcija u sarkoplazmatski retikul, što označuje kraj mišićne kontrakcije.

Kontrakcija mišića dakle nastaje pomoću mehanizma klizanja niti, pri čemu niti aktina kliznu između niti miozina (Slika 3). Ovo je moguće zbog mehaničkih sila nastalih interakcijom poprečnih mostova i niti aktina u pobuđenom stanju mišića. Pritom ioni kalcija iz sarkoplazmatskih retikula prodiru u miofibrile, sile između niti aktina i niti miozina se aktiviraju te nastupa kontrakcija (3).

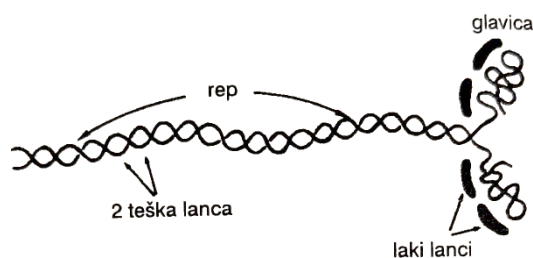


**Slika 3:** Prikaz relaksirane i kontrahirane miofibrile

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici.

Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

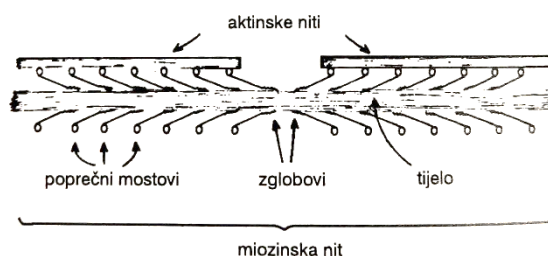
Niti miozina sastoje se od miozinskih molekula. Svaka molekula sastoji se od dva teška polipeptidna lanca te četiri laka polipeptidna lanca (Slika 4). Teški polipeptidni lanci uvijeni su jedan oko drugog u dvostruku spiralu, a po jedan kraj svakog od njih dodatno je uvijen u tvorbu zvanu miozinska glavica, što čini dvije miozinske glavice na jednoj miozinskoj niti. Drugi, spiralni kraj molekula naziva se rep, a zajedno s ostalim repovima molekula u miozinskoj niti čine tijelo niti miozina. Ostala četiri laka polipeptidna lanca pridružena su miozinskim glavicama, po dva lanca na jednoj glavici, a uloga im je pomoć pri regulaciji funkcije glavice u toku mišićne kontrakcije (3).



**Slika 4:** Prikaz molekule miozina

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici.  
Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

Dio spirala miozinskih molekula odvaja se od repa te tvori ručicu koja odvaja glavicu od tijela niti. Ove ručice i glavice zajedno se zovu poprečni mostovi. Svaki poprečni most je savitljiv na dva dijela koji se nazivaju zglobovi. Jedan se dio nalazi ondje gdje se ručica odvaja od tijela niti, dok se drugi dio nalazi na mjestu gdje su dvije glavice spojene s ručicom (Slika 5). Ovo obilježje omogućuje pomicanje miozinske glavice što je ključna stavka procesa kontrakcije (3).

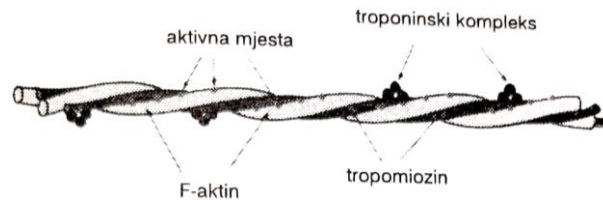


**Slika 5:** Prikaz miozinske niti i spoja miozinske niti s aktinskom niti

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici.  
Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

Niti aktina sastoje se od aktina, tropomiozina i troponina. Osnovna je gradivna jedinica aktinske niti spiralna tvorba dvaju lanaca F-aktina. Svaki lanac F-aktina sastavljen je

od 13 molekula G-aktina koje na sebi nose molekulu adenozin difosfata (ADP). Molekule ADP predstavljaju aktivna mjesta na nitima aktina s kojima u procesu kontrakcije reagiraju poprečni mostovi na miozinskim nitima. Molekule tropomiozina nalaze se neposredno uz lance F-aktina te se na postraničnim dijelovima heliksa dvaju lanaca i spiralno omotavaju oko njih (Slika 6).



**Slika 6:** Prikaz aktinske niti

Izvor: Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici. Zagreb: Medicinska naklada; 1999.

U mirovanju, uloga molekula tropomiozina je prekrivanje aktivnih mjesta na lancu aktina. Na taj način ne dolazi do povezivanja niti aktina i miozina te ne nastaje kontrakcija. Pokraj jednog kraja tropomiozina nalazi se i jedna molekula troponina. Ona predstavlja splet triju proteinskih podjedinica (troponin I, troponin T i troponin C) s pojedinačnom ulogom u nadgledanju mišićne kontrakcije. Tako troponin I ima afinitet prema aktinu, troponin T ima afinitet prema tropomiozinu, a troponin C ima afinitet prema ionima kalcija što pobuđuje proces kontrakcije. Iz tog razloga nastaje teorija o ulozi troponina u povezivanju tropomiozina za aktin (3).

U trenutku kada ioni kalcija aktiviraju nit aktina, aktivna mjesta privlače glavice na poprečnim mostovima niti miozina i tako nastaje kontrakcija. Pretpostavka teorije međusobnog klizanja niti aktina i miozina jest da se vezanjem glavice poprečnih mostova miozinskih niti za aktivno mjesto na aktinskoj niti istovremeno mijenjaju i molekularne sile između glavice i ručice poprečnog mosta. Novi raspored sila potiče glavicu da se nagne na ručicu i za sobom povuče nit aktina. U trenutku nagnjanja, glavica se odvoji od aktivnog mjesta i vrati se u početni položaj od kuda se veže za novo aktivno područje na niti aktina. Potom se glavica ponovo nagne i proces se ponavlja, a to uzrokuje povlačenje niti aktina korak dalje. Pojednostavljeno rečeno, glavice se nagnju naprijed-natrag te klize po niti aktina, istovremeno povlačeći krajeve niti aktina prema središtu miozinske niti (3).

Tijekom kontrakcije ATP se razgrađuje u ADP. Sukladno tome, većoj kontrakciji potrebno je i više ATP-a. Ovdje dolazi u obzir još jedna funkcija miozinske glavice, a to je djelovanje poput enzima ATPaze potrebnog za razgradnju ATP-a. U trenutku kada je glavica



spojena s aktivnim mjestom na niti miozina dolazi do oslobađanja energije te se pomoću nje glavica može nagnuti prema ručici te na taj način nastaje zamah kojim glavica povlači aktinsku nit. Nakon što se glavica nagne dolazi do otpuštanja ADP-a i anorganskog fosfata, prethodno vezanih za glavicu, a mjesto sa kojeg se otpustio ADP ostaje slobodno za vezanje nove molekule ATP-a. Vezanje nove molekule ATP-a za glavicu miozina, potiče njeno odvajanje od aktina i time se nova molekula ATP-a razgradi te tada kreće novi ciklus reakcija koje izazivaju zamah. Ovaj proces konstantno se ponavlja dok nit aktina ne povuče Z-ploču do miozinskih niti ili dok opterećenje ne postane preintenzivno za daljnju kontrakciju mišića (3).

Mišić koji ne trpi opterećenje, ili je to opterećenje izrazito malo, imat će brže kontrakcije. Prosječno vrijeme potrebno za punu kontrakciju mišića približno 0,1 sekunda. Sukladno tome, povećavajući opterećenje smanjit će se brzina kontrakcije (3).

Također, svaki se mišić sastoji od brzih i sporih vlakana karakterističnih za različite vrste aktivnosti. Mišići koji zahtijevaju brze i eksplozivne kontrakcije potrebne za brze reakcije sastavljeni su pretežno od brzih vlakana. S druge strane, mišići koji zahtijevaju produljene kontrakcije, sporijeg tijeka, bez potrebe za brzim reakcijama sastavljeni su većinskim dijelom od sporih vlakana. S tim u vidu, može se zaključiti kako su brza vlakna deblja, sadrže više sarkoplazmatskog retikula, imaju mnoštvo glikolitičkih enzima zbog potrebe brzog oslobađanja energije, imaju slabiju krvnu opskrbu zbog smanjene potrebe za kisikom te stoga sadrže i manje mitohondrija, dok su s druge strane spora vlakna tanja, inervirani su od strane tanjih živčanih vlakana, imaju veću dopremu krvi zbog veće potrebe za kisikom i zbog toga im je povećan broj mitohondrija te sadrže puno mioglobina koji je potreban za vezivanje s kisikom i pohranjivanje kisika što ubrzava prijenos kisika do mitohondrija. Zbog razlike u opskrbi krvlju, brza vlakna se doimaju bijela, a spora vlakna crvena (3). Spora vlakna najviše su zastupljena u posturalnim mišićima koji zahtijevaju rad kroz duži period bez stanke, a zbog bolje prokrvljenosti imaju veću koncentraciju mioglobina potrebnog za opskrbu kisikom kako bi se proizvela energija. Dvadeset puta više ATP-a se proizvodi oksidacijom glukoze u sporim vlaknima nego razgradnjom glukoze u brzim vlaknima. Spora vlakna također mogu koristiti masne kiseline kao izvor energije. Brza vlakna s druge strane imaju puno manju koncentraciju mioglobina te se stoga doimaju kao bijela vlakna, a krajnji proizvod njihove anaerobne razgradnje glukoze je mliječna kiselina. Kako bi se ona razrijedila, dodatna voda se zadržava u mišiću što izaziva osjećaj otečenosti i „punosti“ mišića nakon snažnog vježbanja. Budući da brza vlakna koriste glukozu puno manje učinkovito za razliku od sporih vlakana, brza vlakna vrlo brzo ostaju bez izvora energije te se sukladno tome brže javlja zamor mišića. Međutim, brzina kontrakcije brzih vlakana može biti i do deset puta veća od one proizvedene od strane

sporih vlakana. Takozvani „fazni“ mišići, koji se moraju brzo i precizno kontrahirati, poput mišića koji pomiču oči, iz tog razloga imaju visok omjer brzih vlakana (11).

Kontrakcije mišića različitih su jakosti. Prilikom povećanja intenziteta ukupne kontrakcije mišića, pojedine manje kontrakcije mišića se zbrajaju što se naziva sumacija sila. Slanjem slabijeg signala iz središnjeg živčanog sustava u mišiće, kontrahirat će se manji broj mišićnih vlakana. Pojačavanjem signala, kontrahirat će se veći broj mišićnih vlakana te će se sukladno tome proizvesti i veća mišićna sila. Ova pojava zove se načelo veličine i važno je iz razloga što omogućuje stupnjevanje kontrakcija. Također, još je jedno bitno obilježje sumacije sila što omogućuje mišićnim vlaknima da se kontrahiraju jedna za drugom, a to rezultira glatkom i cjelovitom kontrakcijom cijelog mišića (3).

Mnogi mišići funkcioniraju u parovima agonista i antagonista pri čemu kontrakcija jednog mišića otvara zglob (pomičući zglobna tijela dalje jedna od druge), dok kontrakcija drugog mišića zatvara isti zglob (pomičući zglobna tijela bliže jedno drugome). Primjer ovakvog funkcioniranja su *m. biceps brachii* i *m. triceps brachii*. Kontrakcija *m. biceps brachii* kada je podlaktica u supiniranom položaju rezultira fleksijom u zglobu lakta, odnosno zatvaranje zgloba lakta. Kontrakcija *m. triceps brachii* s druge strane izvodi pokret ekstenzije u zglobu lakta, odvajajući podlakticu od nadlaktice te otvarajući zglob lakta (11).

## **2.4. Neuronski sklopovi za obradu informacija**

Osjetilni receptori omogućuju ulaz informacija u središnji i periferni živčani sustav. Oni su rasprostranjeni po cijelom tijelu, a uloga im je uočavanje osjetnih podražaja iz okoline i unutrašnjosti tijela, kao što su zvuk, dodir, kemijski sastav, bol, hladnoća, toplina i svjetlost. Osnovna funkcija živčanog sustava je obrada informacija za stvaranje odgovarajuće motoričke reakcije. Tijelo je svakodnevno izloženo raznim informacijama iz okoline i iz svoje unutrašnjosti, toliko da mozak ne može sve informacije procesirati odjednom. Stoga, više od 99% informacija koje dopru do mozga se odbacuju. Tako se odbacuju i informacije o dodiru odjeće o kožu, pritisku o sjedalu ili o podlogu pa čak i informacije o raznim šumovima koji mogu doprijeti iz okoline. Samo 1% informacija čine predmeti i pojave na koje osoba obraća pozornost. Te se informacije šalju u motorička područja u mozgu odgovorna za formiranje prikladnog odgovora putem kontrakcija mišića. Jedan dio tih informacija ostat će pohranjen u kori velikog mozga kako bi se adekvatno obavljao nadzor nad mišićnim reakcijama u budućnosti ili u svrhu procesa razmišljanja. To pohranjivanje informacija predstavlja proces pamćenja. Ono je ključno u procesu učenja novih vještina, o čemu će se više govoriti u poglavljima 2.6. i 2.7 (3).

Kako bi tijelo pravilno odreagiralo na određeni podražaj iz okoline, potrebne su informacije koje se dobivaju putem osjetilnih organa. Za potrebe ovog rada, pobliže će se promotriti osjetila za vid, odnosno oči. Mrežnica u svojem sastavu posjeduje dvije vrste osjetilnih receptora: štapići i čunjići. Štapići služe za raspoznavanje svjetla i tame, a smatraju se bolje prilagođenima za vid u uvjetima oslabljenog osvjetljenja. Čunjići pomažu u raspoznavanju boja te u percipiranju detalja. Kada svjetlost pogodi štapiće i čunjiće, impulsi se šalju u koru velikog mozga te na taj način mozak dobiva vizualne signale identificirajući kako je osoba orijentirana u odnosu na druge objekte. Primjerice, dok osoba hoda gradskom ulicom, zgrade pokraj kojih prolazi čine se vertikalno poravnate, a svaka trgovina koju prolazi prvo ulazi, a zatim izlazi iz perifernog vida (12).

Lokomotorni sustav sastoji se od receptora za duljinu mišića i brzinu (mišićno vreteno), za silu tetive (Golgijev tetivni organ), za stanje u zglobovima (zglobni receptori) te za pritisak i pokrete kože (kožni i potkožni receptori) (13). Mehanoreceptori prikupljaju informacije o vanjskim mehaničkim silama koje djeluju na tijelo (zvuk, pritisak, dodir, pokret, gravitacija) i te informacije prenose do središnjeg živčanog sustava. Proprioceptori su velika grupa receptora, a reagiraju na stimuluse nastale unutar organizma. Središnji živčani sustav, uglavnom mali mozak, uspoređuje signale svih vrsta proprioceptora kako bi procijenio i regulirao integritet tijela, kretanje i položaj tijela u prostoru. Tri su glavne skupine proprioceptora: proprioceptori ligamenata, zglobova i kože (Ruffinijeva tjelešca, Pacinijeva tjelešca i slobodni živčani završetci), proprioceptori vrata i labirinta te mišićni proprioceptori (mišićno vreteno i Golgijev tetivni organ). Zajednička stvar ovim proprioceptorima jest što svi mjere napetosti koje djeluju na određene dijelove tijela (kroz držanje, kretanje i ubrzanje) i sukladno tome ispravljaju funkciju mišića (11). Na prvi pogled, ovi receptori su dovoljni za pružanje informacija o stanju lokomotornog sustava, no u nekim situacijama mogu djelovati prebučno i informacije koje šalju mogu se doimati zbunjujućima središnjem živčanom sustavu. Primjerice, mišićna vretena šalju impulse o duljini mišića i brzini njihove kontrakcije, ali njihovo pojačanje ne regulira posebnim sustavom neurona u leđnoj moždini, gama-motoneuronima. To znači da isti signal može biti generiran na različitim položajima i brzinama ovisno o aktivnosti gama-motoneurona. Predviđa se da se voljni pokreti iniciraju upravo promjenom aktivnosti gama-motoneurona, dok promjene aktivnosti alfa-motoneurona slijede uz zakašnjenje što omogućuje prijenos impulsa od gama-motoneurona do mišićnog vretena i od mišićnog vretena do alfa-motoneurona. Također, bitno za napomenuti jest da gama-motoneuroni imaju relativno tanke mijelinizirane aksone koji provode signal umjerenom brzinom od oko 20 m/s. Znači da je signalu poslanom od gama-motoneurona do mišićnog

vretena u skeletnom mišiću stopala potrebno otprilike 50 milisekundi da stigne do odredišta, što je duže od uobičajenog najkraćeg kašnjenja refleksa, od promjena u stanju mišićnog vretena do aktivacije mišića (oko 30 milisekundi). Ako se ovom vremenu nadoda vrijeme potrebno za putovanje akcijskog potencijala od mozga do lumbalnog dijela leđne moždine, odnosno do alfa-motoneurona koji kontroliraju mišiće nogu, ukupno vrijeme postaje jednako ili čak duže od najkraćih kašnjenja voljnih reakcija (oko 100 milisekundi) (13).

Podraživanjem tkiva uzrokuje se promjena potencijala na membrani podražene stanice. Tako se promjena membranskog potencijala na podraženom receptoru naziva receptorski potencijal. Time se ionima omogućuje bolja propusnost kroz membranu stanice, što mijenja transmembranski potencijal i tako se impuls prenosi. Neke se informacije do središnjeg živčanog sustava moraju prenijeti brže od drugih. Opća podjela živčanih vlakana je na vlakna A i vlakna C, pri čemu su vlakna A obavijena mijelinskom ovojnicom, dok su vlakna C nemijelinizirana. Sukladno tome, vlakna A brže će prenositi impulse od vlakana C. Bitno je spomenuti i kako više od pola osjetnih vlakana većine perifernih živaca pripada vlaknima C. Također, postoji i razlika u brzini provođenja impulsa između debljih i tanjih živčanih vlakana. Deblja vlakna mogu prenositi impulse brzinom i do 120 m/s, dok tanja vlakna mogu prenositi impulse brzinom tek 0,5 m/s (3).

## **2.5. Nadzor nad mišićnim funkcijama**

Pokret je proizvod mišićne kontrakcije koja se odvija kroz prostor u određenom vremenu, a upravljana je neuronskim krugovima u mozgu i kralježničnoj moždini. Skeletne mišiće izravno inerviraju donji motoneuroni kralježnične moždine i moždanog debla, koji ujedno i započinju kontrakciju skeletnih mišića. Nadzor nad donjim motoneuronima izravno obavljaju lokalni krugovi kralježnične moždine i moždanog debla, dok neizravni nadzor nad lokalnim krugovima obavljaju gornji motoneuroni smješteni u višim centrima. Gornje motoneurone nadalje nadziru neuronski krugovi bazalnih ganglija i malog mozga, a također sudjeluju i u ubrzavanju započinjanja pokreta i njegovog izvršavanja s maksimalnom mogućom vremenskom i prostornom točnošću (14).

Donji motoneuroni također se nazivaju i  $\alpha$ -motoneuroni, a smješteni su u motoričkim jezgrama moždanih živaca moždanog debla te u ventralnim rogovima sive tvari u kralježničnoj moždini, od kuda dalje šalju aksone u skeletne mišiće ventralnim korjenima i spinalnim perifernim živcima te kranijalnim živcima. Kako će se, s kojim smjerom i u kojem vremenu aktivirati donji motoneuroni određuju lokalni krugovi u kralježničnoj moždini i moždanom deblu koji primaju informacije dopremljene iz osjetnih neurona i posreduju u senzomotoričkim

refleksima. Ovi refleksi sudjeluju u održavanju usklađenosti ritmičkih i stereotipnih reakcija. Tijela gornjih motoneurona nalaze se u jezgrama moždanog debla: vestibularne jezgre, gornji kolikuli, retikularna formacija i kora velikog mozga zadužena za voljni aspekt motoričkih pokreta. Njihovi aksoni povezuju lokalne neuronske krugove moždanog debla i kralježnične moždine zadužene za povezanost pripadajućih donjih motoneurona. Iz tog su razloga donji motoneuroni završni putevi prijenosa informacija ka skeletnom mišiću (14).

## 2.6. Asocijativna kora

Složene se funkcije mozga obrađuju u asocijativnim područjima, smještenim u limbičkom području (oko korpus kalosuma i na medijalnim stranama hemisfera velikog mozga), frontalnom režnju te na području između temporalnog, parietalnog i okcipitalnog režnja. Takve funkcije obuhvaćaju mišljenje, pamćenje, učenje, ponašanje i govor, odnosno određuju osobu na karakternoj razini. Zajedničkim se nazivom ove funkcije nazivaju kognicija, a ona se odnosi na usmjeravanje pažnje na vanjske stimulse ili osobnu unutarnju motivaciju, mogućnost prepoznavanja važnosti tih stimulusa te sposobnost oblikovanja primjerenog odgovora na iste. Ondje se formira i upravlja ponašanje osobe u određenim situacijama na temelju obrađenih informacija u senzoričkim područjima velikog mozga te se na taj način omogućuje pamćenje odrađenih postupaka kako bi se jednostavnije moglo reagirati u kasnijim, sličnim situacijama. Na taj način izvršava se čin učenja. Također, osim navedenog, asocijativnim se područjima upravlja i orijentacija pojedinca u prostoru (14, 15, 16).

Limbički sustav sastoji se od mamilarnih tjelešca, hipokampus, forniksa, gyrus cingulisa i amigdaloidne jezgre. Ta je jezgra od velike važnosti pri obradi informacija vezanih za emocije. Zajedno s ostalim strukturama, djeluje u kontroliranju autonomnih i endokrinih funkcija, ali ima utjecaja i na ponašanje pojedinca u određenim situacijama, kao i na procese učenja i pamćenja (15).

Strukture odgovorne za skladištenje informacija te formiranje memorije su parahipokampus i hipokampus, čija se glavna uloga većinski odnosi na prostornu memoriju, no pretpostavlja se da se dugotrajna memorija ipak formira u udaljenijim regijama kore velikog mozga (16).

Također, limbički sustav je povezan i s regulacijom stanja budnosti i spavanja te sudjeluje u određivanju razine aktiviranosti cijelog organizma, zbog svoje dvosmjerne povezanosti s retikularnom formacijom. Uz ranije navedene strukture, u limbički sustav mogu se uključiti i prednje jezgre talamusa, entorinalni korteks, piriformna kora, *nucleus accumbens*

i orbitofrontalni korteks, od kojih valja izdvojiti entorinalni korteks zbog njegove važnosti u procesu pamćenja te orbitofrontalni korteks zbog važnosti u donošenju odluka (9).

Amigdala predstavlja malu strukturu, bademastog oblika, sastavljenu od skupine jezgara u dubini medijalne strane temporalnih režnjeva, a uloga joj je analiza informacija na emocionalnoj razini. Amigdaloidne jezgre dijele se na dvije glavne podskupine (kortikomedijalnu i bazolateralnu) te na središnju jezgru. Također, postoje dva puta kojima amigdala kontrolira emocionalne reakcije, a to su takozvani „brzi i prljavi put“ i talamus-korteks-amigdala. Prvi put je zadužen za brzu reakciju organizma na podražaj, ali osigurava manje obrađene informacije, dok drugi put osigurava preciznije obrađene informacije, ali je s druge strane sporiji (9, 16).

Većina se neutralnih osjetnih signala povezuje s neuronima u amigdali kroz projekte iz viših centara koji su zaduženi za obradu osjetnih informacija. Kada ti osjetni signali istovremeno aktiviraju neurone amigdale zajedno s drugim signalima koji imaju pojačavajuću vrijednost, dolazi do učenja tako što se jačaju veze između neutralnih ulaznih signala i neurona amigdale. Izlazni signali zatim iz amigdale odlaze do centara koji kontroliraju motorički izraz emocija i ponašanja vezana uz traženje nagrade i izbjegavanje kazne (14).

## 2.7. Brze reakcije

Vrijeme reakcije može se definirati kao vrijeme koje je potrebno organizmu da odgovori na određeni podražaj. Primjer situacije u kojoj se od pojedinca očekuje da brzo reagira jest početak utrke. U trenutku kada trkač čuje zvučni signal, odnosno zvučni podražaj koji mu govori kako je utrka započela, njegov organizam obrađuje dobivenu informaciju i šalje odgovor na nju. Ovakve situacije nazivaju se situacije *podražaj – odgovor*. U ovom slučaju podražaj je zvučni signal, a odgovor je reakcija trkača na zvučni signal. Osim vremena reakcije, još jedan ključan čimbenik u vezi podražaj – odgovor je učenje. Učenje označava stjecanje znanja i vještina učestalom ponavljanjem, iskustvom ili podukom od strane iskusnijih osoba, a jedan od preduvjeta učinkovitog učenja je pamćenje. Pamćenje je mogućnost kodiranja, pohrane i ponovnog pronalaženja već naučenih vještina i informacija kako bi se riješili novi zadaci. Postoje dvije kvalitativne vrste pamćenja: deklarativno i nedeklarativno pamćenje. Deklarativno pamćenje služi za pohranu informacija koje se mogu izraziti govorom i kojih je osoba svjesna, a nedeklarativno pamćenje također se naziva i proceduralno pamćenje te služi za pohranu informacija koje obuhvaćaju vještine i asocijacije koje se stječu iskustvom te koje su uglavnom nesvjesne. Također, pamćenje se može kategorizirati prema vremenu pa tako postoje trenutno pamćenje, radno pamćenje i dugoročno pamćenje. Trenutno pamćenje odnosi

se na sposobnost procesiranja događanja koji se događa u djeliću sekunde i vrlo je velikog kapaciteta. Radno pamćenje ili radna memorija jest sposobnost pohrane i obrade informacija u tijeku obavljanja određenog rada u trajanju od nekoliko sekunda do nekoliko minuta, a koje služe da bi osoba ostvarila zadani cilj. Ova vrsta pamćenja također se naziva i kratkoročno pamćenje. Ograničeno je trajanjem i kapacitetom te se zbog toga radnje koje se žele dugoročno zapamtiti moraju iznova ponavljati. Dugoročno pamćenje podrazumijeva trajnu pohranu informacija u trajanju od nekoliko dana pa i doživotno. Kako bi se ovo postiglo, pamćenje je potrebno učvrstiti konstantnim ponavljanjem određene aktivnosti ili ponavljanom izloženošću određenom stimulusu. Između podražaja i odgovora javlja se pauza, a ona nastaje zbog vremena koje je potrebno aferentnom neuronu da prenese signal do mozga te eferentnom neuronu da prenese signal od mozga do izvršitelja reakcije, odnosno mišića. Ova pauza može se znatno skratiti učenjem. Vrijeme reakcije je individualno, ovisi od osobe do osobe, ali i o okolnostima u kojima se osoba nalazi. Pokazalo se kako većina ljudi ima odgođeno ili zakašnjelo vrijeme reakcije noću i rano ujutro netom nakon buđenja. Učenjem se vrijeme reakcije može skratiti jer osoba nauči što treba očekivati u određenoj situaciji te će na temelju iskustva i znanja znati unaprijed što je potrebno učiniti (4, 14).

Mišići su tromi, nemaju mnogo snage te stvaraju sile koje ovise o duljini mišića i njegovoj brzini promjene (brzini kontrakcije). To znači da u trenutku kada se impulsi isporuče u mišić, sila koju prenose tetive mišića do hvatišta s kosti, neće ovisiti samo o veličini naredbe, već i o stvarnoj duljini mišića i njegovoj brzini kontrakcije. Budući da se kretanje tjelesnih segmenata temelji na mišićnim silama i silama iz okoline, stvarne mišićne sile postaju nepredvidljive, osim u slučajevima kada središnji živčani sustav ne posjeduje sposobnost savršenog predviđanja promjena u okolini, sa 100%-tnom sigurnošću. Okolina je uglavnom nepredvidljiva, što znači da središnji živčani sustav u načelu nije u mogućnosti propisati točne vremenske uzorke mišićnih sila, osim ako se radi o laboratorijskim uvjetima s posebno uvjetovanim vanjskim silama što u stvarnosti nije moguće. Ako se radnja izvodi što je brže moguće kao odgovor na nepredvidivi senzorni podražaj (jednostavno vrijeme reakcije), rani moždani potencijali skraćuju se u trajanju ili čak nestaju, dok motorički potencijal ostaje nepromijenjen. Ova pojava sugerira da rani potencijali predstavljaju procese povezane s pripremom pokreta, što u nekim situacijama nije potrebno ako je radnja unaprijed poznata, dok motorički potencijal održava neuralni impuls prema leđnoj moždini koji na kraju iniciraju radnju (13).

Neočekivane promjene u okolini relativno su česte. Kako bi se izbjegli poremećaji u pokretanju segmenata zbog tih promjena, odgovori koji se šalju u mišiće moraju biti adekvatno

ispravljeni. Ovakvi se ispravci izvršavaju pomoću senzornih impulsa koji daju informaciju središnjem živčanom sustavu o neočekivanim promjenama u okolini. Glavni problem jest što su provodni putevi u organizmu relativno dugi, a brzina provođenja impulsa je relativno niska (u idealnim slučajevima može doseći brzinu od 100 m/s, ali većinom je puno niža). Rezultat je kašnjenje motoričkih reakcija u vrijednostima od nekoliko desetaka milisekundi za periferne signale, što je normalno. Ovakva kašnjenja mogu doseći 0.1 sekundu pa i više, ako se računaju od perifernog signala do motoričke reakcije od strane mišića. To je puno vremena i za neke od najbržih voljnih pokreta. Vrhunski sprinter prijeđe 1 metar za to vrijeme, dok teniska loptica za to vrijeme prijeđe put od 5 metara. Prema tome, središnji živčani sustav svakodnevno se suočava sa zastarjelim informacijama o stanju perifernih organa, a ove informacije postaju još starije kada signali generirani od strane neuronskih centara dosegnu mišiće (13).

Ionski kanali se također mogu otvoriti neizravno pomoću metabotropnih receptora što uzrokuje reakcije sporije od onih izazvanih izravnim aktivacijama. Gvanin nukleotid-vezujući proteini (G-proteini) odgovorni su za neizravno otvaranje ionskih kanala djelujući kao citoplazmatski nosači, krećući se između receptora i efektornih proteina u unutrašnjosti stanične membrane. U trenutku kada se neurotransmiter veže za G-protein receptor, događa se sljedeće:

1. Proteinski receptor promijeni oblik.
2. G-protein se aktivira.
3. Aktivne podjedinice G-proteina se oslobode iz receptora te preuzimaju ulogu citoplazmatskih signalizirajućih prijenosnika.
4. Podjedinice se vežu za membranu ionskog kanala.
5. Ionski kanal promijeni oblik i otvori se.
6. Podjedinice se deaktiviraju i ponovno se povežu s receptorom.

Pošto G-protein djeluje kao posrednik između receptora i efektor, brzina reakcije može se znatno smanjiti (8).

Bilateralne subtalamičke jezgre poboljšavaju brzinu kretnji, ukočenost, hod i posturalnu stabilnost. Također bitno za spomenuti jest da su subtalamičke jezgre primjerene samo za relativno zdrave, mlade, kognitivno intaktne pacijente koji su na optimalnim lijekovima i imaju teške fluktuacije motoričkih znakova (8).

Pokreti očiju imaju dva cilja: održavanje stabilnog pogleda tijekom pokreta glave kako bi se okolina doimala mirnom te usmjeravanje pogleda ka ciljanim vizualnim objektima. Brzi pokreti očiju bitni su kod brzine motoričke reakcije tijela time što omogućuju brzo prebacivanje



pogleda s jednog objekta na drugi. Time se novi objekti donose u središnji vid, gdje se mogu vidjeti detaljnije slike tog objekta (8).

Vrijeme tranzicije je period koji je potreban za reorganizaciju pokreta između dva različita događaja te za uspješno izvršavanje zadatka. Primjerice, ukoliko osoba skače na jednoj nozi s jedne strane na drugu i iznenada zastane, tijelo će se njihati dok se ne uspostavi balans. Ova pojava predstavlja vrijeme organizacije između dinamičkog i statičkog balansa. Ukoliko se ova akcija učestalo ponavlja, tijelo će sve brže moći kontrolirati tranzicije između statičkog i dinamičkog balansa. Stopa tranzicije predstavlja vrijeme potrebno senzornim ulazima da dosegnu centralna motorna područja, da se ta informacija obradi, da se donese odluka o akciji koju treba poduzeti i vrijeme koje je potrebno motoričkim odgovorima da dosegnu mišiće (vrijeme reakcije). Također, uključuje i razdoblje potrebno za posturalne prilagodbe i izvršavanje pokreta u određenom zadatku (vrijeme kretanja). Različiti elementi unutar ovog niza događaja mogu se dogoditi u djeliću sekunde, prebrzo da bi se odvojeno procijenili bez laboratorijskih aparata. Stoga se uvodi termin „vrijeme tranzicije“. Ono što se može promatrati bez laboratorijske tehnologije je ukupni rezultat koliko brzo i glatko osoba može promijeniti dvije aktivnosti. Rezultati dobiveni ovim načinom nisu precizni kao oni dobiveni laboratorijskim ispitivanjem, ali su klinički dovoljno dobri. Koliko će osoba vremena provesti na organizaciju često se može mijenjati ukoliko su prisutne mišićno-koštane ozljede, ali može varirati i kod pacijenata s oštećenjem središnjeg živčanog sustava. Pacijent koji je prebolio cerebrovaskularni inzult može imati poteškoće s organizacijom unutar ili između zadataka, poput sjedenja, ustajanja i hodanja, ili hodanja i okretanja. Ovakve aktivnosti obilježene su dugim pauzama u kojima se zbiva reorganizacija između dvije radnje. Zanimljiva činjenica jest da u sportu određeni broj osoba koje se bave triatlonom prijavljuju nesklad prilikom trčanja nakon bicikliranja. Ova pojava je povezana s nesposobnošću motornog sustava da se učinkovito reorganizira između ta dva intenzivna fizička napora (17).

Pokazalo se i kako su sportaši sa sporijim reakcijama podložniji ozljedama (17).

Varijacija ispitivanja brzine reakcije jest davanje upute pacijentu da simultano objema rukama dotakne obje ruke terapeuta. Terapeut bez najave tada mijenja pozicije svojih ruku, a pacijent to mora pratiti. Promatranjem rezultata ispitivanja može se ustanoviti koja je brzina reakcije pacijenta u gornjim ekstremitetima (17).

Sporije reakcije također su prisutne i kod osoba s depresivnim poremećajima (16).

Studije provođenja živčanih impulsa uključuju stimuliranje senzornih i motornih živaca te mjerenje odgovora organizma na stimulaciju. Princip na kojem ispitivanja djeluju je da se jedan kraj živca stimulira, a rezultati reakcije organizma bilježe se na drugom kraju živca ili na

mišiću kojeg on inervira. Važne su veličina i brzina odgovora. Demijelinizacija živca usporava brzinu provođenja, dok gubitak aksona rezultira manjim odgovorom, ali normalnu brzinu provođenja. Prije testiranja potrebno je utvrditi ima li osoba neuropatiju, kakvog je ona tipa (demijelinizirajuća ili aksonalna) i u kojem se opsegu javlja (fokalna ili generalizirana) (16).

## 2.8. Refleksi

Refleksi se definiraju kao nevoljni, stereotipni i stupnjeviti odgovori organizma na osjetne podražaje. Amplituda refleksa odgovara intenzitetu podražaja, dok je mjesto podraživanja od ključne uloge u kontrakciji mišića. Spinalni refleksi su refleksi koji se zbivaju pod nadzorom kraljeznične moždine. Izazivaju ih podražaji receptora u koži, tetivama, mišićima i zglobovima. Anatomski gledano, struktura preko koje se događa refleksna reakcija naziva se refleksni luk, a građen je od receptora, aferentnog vlakna, centra za integraciju, eferentnog vlakna i efektor (4).

Postoje motoričke reakcije na podražaje koje se javljaju uz relativno kratka vremenska kašnjenja, kraćim od najbrže voljne motoričke reakcije. Ovakve reakcije uobičajeno uključuju kontrakciju mišića u ograničenim mišićnim skupinama. Obrasci ovakvih reakcija osoba nije u mogućnosti kontrolirati, drugim riječima, teško ih je promijeniti vlastitom voljom. Za neke od tih reakcija točno su definirani neuronski putevi koji ih uzrokuju, a termin za ovakve brze, nevoljne reakcije jest refleks. Također, dobrovoljni pokreti tijela povezani su s promjenama u refleksima, a prema jednoj od glavnih teorija kontrole pokreta (hipotezi o ravnotežnoj točki), voljni pokreti nastaju promjenom i prilagodbom parametara određenih refleksa. Nekoliko je klasifikacija refleksa temeljenih na njihovim karakteristikama, primjerice, urođeni i uvjetovani refleksi te fazični i tonički refleksi koji se temelje na njihovom vremenskom tijeku: fazični refleksi su prolazni, kratkotrajni refleksi, dok su tonički refleksi u ravnotežnom stanju. Također, može se reći i kako fazični refleksi nastaju promjenom magnitude podražaja, dok tonički refleksi nastaju zbog magnitude tog podražaja. Refleksi mogu uzrokovati kontrakciju mišića na području primjene podražaja te tada stječu naziv homonimni ili autogeni, a mogu se uočiti i u udaljenim mišićima te u tom slučaju stječu naziv heteronimni ili heterogeni. Također jedna od klasifikacija mišićnih refleksa temelji se na broju sinaptičkih veza između neurona. Tako postoje monosinaptički i polisindaptički refleksi (13).

Monosinaptički refleksi događaju se preko jednostavnog, monosinaptičkog ili direktnog refleksnog luka kraljeznične moždine. Sastoji se od dva neurona, aferentnog zaduženog za prijenos osjeta i eferentnog zaduženog za prijenos motornog odgovora, koji su međusobno povezani jednom sinaptičkom vezom (4).

Polisinaptički refleksi događaju se preko složenog, polisinaptičkog ili indirektnog refleksnog luka kralježnične moždine. Sastoji se od najmanje tri neurona: aferentnog, eferentnog i interneurona koji se nalazi između aferentnog i eferentnog neurona (4).

Pre-programirane reakcije su još jedna skupina poluautomatskih reakcija koja može biti povezana sa zakašnjenjem reakcije kraćim od najkraćeg kašnjenja voljne reakcije na usporedivi senzorni podražaj (jednostavno vrijeme reakcije). Ovakvi odgovori organizma ponekad se promatraju kao refleksi, a ponekad kao dobrovoljne reakcije. Primjer ovakvih reakcija je zadržavanje položaja u zglobu protiv vanjskog opterećenja aktivirajući mišić. Terapeut pacijentu daje uputu da ukoliko dođe do promjene u vanjskoj sili, pacijent pokuša što je brže moguće vratiti zglob u njegovu izvornu poziciju. Zatim, bez prethodnog upozorenja, dolazi do poremećaja, na primjer povećanja opterećenja koje isteže aktivirani mišić. Ukoliko je poremećaj jak, može dovesti do monosinaptičkog odgovora u mišiću koji slijedi dva, ne uvijek jasno diferencirana odgovora koji dolaze sa zakašnjenjima od otprilike 50-60 i 70-90 milisekundi. Kasnije može nastupiti voljna reakcija mišića, obično uz zakašnjenje od otprilike 150 milisekundi (13).

Radnje mogu biti više ili manje stereotipne, povezane ili ne povezane s dobro definiranim senzornim signalom te uključivati kratka ili duga zakašnjenja. Visoko stereotipne radnje s malim zakašnjenjem koje su povezane s određenim senzornim podražajem mogu se nazivati refleksima, dok s druge strane, izrazito nestereotipne radnje koje dolaze s puno većim zakašnjenjem i nisu povezane sa senzornim signalom mogu se nazivati voljnim reakcijama. Svaka radnja koja se nalazi između ove dvije krajnosti može se jednostavnom riječju nazvati radnjom (13).

Postoje brojna ograničenja refleksne teorije motorne kontrole. Prvo, refleks se ne može gledati kao osnovna jedinica ponašanja ukoliko se spontani i dobrovoljni pokreti okarakteriziraju kao prihvatljivo ponašanje, a razlog je što refleks mora biti aktiviran vanjskim čimbenikom. Drugo, refleksna teorija motorne kontrole nedovoljno dobro objašnjava i predviđa pokrete koji se dešavaju prilikom odsustva osjetnog stimulusa. Treće, teorija ne objašnjava brze pokrete, odnosno nizove pokreta koji se odvijaju prebrzo da bi senzorna povratna informacija iz prethodnog pokreta mogla aktivirati sljedeći. Primjerice, iskusan daktilograf prelazi s jedne tipke na drugu toliko brzo da nema vremena da senzorna informacija iz jednog pritiska tipke aktivira sljedeći. Četvrto, koncept da lanac refleksa može stvoriti složena ponašanja ne objašnjava činjenicu da jedan podražaj može rezultirati različitim odgovornostima ovisno o kontekstu i naredbama iz središnjeg živčanog sustava. Primjerice, postoje određene situacije koje zahtijevaju od pojedinca da nadvlada reflekse kako bi postigao

cilj, npr. obično dodirivanje predmeta visoke temperature rezultira povlačenjem ruke, ali ako se pojedinac nađe u situaciji gdje se mora suočiti s požarom kako bi izvukao drugu osobu na sigurno, primoran je nadvladati refleksno povlačenje ruke. Naposljetku, lančani refleksi ne objašnjavaju sposobnost stvaranja novih pokreta. Novi pokreti sastavljaju jedinstvene kombinacije podražaja i odgovora prema prethodno naučenim pravilima. Primjerice, violinist koji je naučio skladbu na violini i također zna tehniku sviranja violončela, može odsvirati tu skladbu na violončelu, a da ju pritom nije nužno uvježbao na violončelu. Violinist je u ovom slučaju naučio pravila sviranja skladbe i primijenio ih u novoj situaciji, na violončelu (18).

Oštećenjem refleksnog luka na bilo kojoj razini rezultira oslabljenim, odsutnim ili u nekim slučajevima i pojačanim refleksnim odgovorom (4).

Primarni refleksi javljaju se u najranijoj životnoj dobi te se vremenom gube, a neki od njih su: refleks hvatanja, tonički vratni refleks, Babinski refleks, Moro refleks (refleks iznenađenja), refleks sisanja, refleks hodanja, refleks četiri točke (*rooting reflex*), refleks vuče (*traction response*) i refleksno treptanje (19, 20). Primitivni refleksi koji imaju utjecaj na hvat opisuju se kao isprepleteni, nevoljni i stereotipni pokreti posredovani na razini moždanog debla. Ovi su refleksi povezani s osjetima te postavljaju temelj za više razine razvoja mozga. Mogu se izazivati osjetnom stimulacijom koju generira određeni položaj glave ili tijela te taktilnim i proprioceptivnim putem. Hvat je pod utjecajem refleksa hvatanja, a razvija se od 11. do 16. tjedna u maternici (19). Prisutan je kod djeteta tijekom prva tri do četiri mjeseca života. Postoje palmarni i plantarni refleks hvatanja. Palmarni refleks hvatanja očituje se kao čvrsto hvatanje predmeta koje se djetetu postave na dlan. Plantarni refleks hvatanja očituje se kao fleksija nožnih prstiju kada se predmet postavi djetetu na taban (20). Pripisuje se instinktivnom pokretanju, a omogućuje vježbanje hvatanja i puštanja predmeta. Razvoj voljnog hvata povezan je s automatskim refleksnim hvatanjem (reakcija na povlačenje, refleks hvatanja i instinktivna reakcija hvatanja) i njihovom poveznicom s reakcijama izbjegavanja predmeta. Također, pojava i integracija ovih refleksa, zajedno s interakcijom dojenčeta s okolinom, ima važnu ulogu u stjecanju vještina ruku. Asimetrični tonički vratni refleks označuje ispružanje ekstremiteta dojenčeta na strani na kojoj je okrenuta glava, a savijanje ekstremiteta suprotne strane (19). Ova reakcija prisutna je u djece prvih dva do tri mjeseca života te se postepeno gubi do šestog mjeseca života, a značajan je u stvaranju temelja za razvoj vizualno-motorne koordinacije (20). Refleks povlačenja ili *traction response* označava čvrsto stiskanje šake i povlačenje prema gore ukoliko se djetetu ruka povuče prema gore, što nalikuje kao da dijete pomaže u povlačenju. Ovaj refleks je nužan za otvorenu šaku prilikom voljnog posezanja za objektom te će stoga ustrajnost ovog refleksa inhibirati voljno doseganje i hvatanje. Osim toga,

ukoliko reakcija povlačenja nije pravilno integrirana, objekt stavljen u djetetovu ruku bit će povučen blizu djetetova tijela, što inhibira vizualno istraživanje i manipulaciju objektom (19). Babinski refleks označuje širenje prstiju djetetovih stopala prema van uz dorzalnu fleksiju stopala nakon što ih se podraži s lateralne strane plantuma. Javlja se u prvom tjednu nakon poroda te perzistira do godine dana. Moro refleks (refleks prirođenog straha) javlja se kod novorođenčadi ukoliko se simulira osjećaj pada ili ukoliko se dijete izloži glasnom zvuku. Tada se javlja snažan obrazac ekstenzije i abdukcije gornjih ekstremiteta, na koji se nadovezuje obrazac fleksije i adukcije gornjih ekstremiteta. Refleks sisanja javlja se kada se novorođenčetu dodirnu usne. U tom trenutku dijete izvede akt sisanja što je od vitalne važnosti za preživljavanje. Refleks hodanja javlja se kada se dijete drži uspravno tako da stopalima dodiruje ravnu površinu. Tada dijete refleksno izvodi pokrete nalik hodanju. Refleks četiri točke ili *rooting reflex* označuje okretanje glave prema izvoru podražaja i otvaranje usta ukoliko se dijete dotakne po obrazu ili kutu usana. Ovaj pokret označuje pripremu djeteta za dojenje. Refleksno treptanje može se svrstati u obrambene reflekse, a očituje se kontrakcijom orbikularnog očnog mišića u slučaju potencijalno opasnog vizualnog ili slušnog podražaja (20).

Osim primarnih refleksa, postoje i refleksi koji se mogu aktivirati podraživanjem tetiva mišića, odnosno duboki tetivni refleksi ili refleksi istežanja mišića. Oni mogu pomoći u procjeni neuroloških bolesti koje zahvaćaju aferentne živce, sinaptičke sveze u kralježničnoj moždini, motorne živce i silazne motorne puteve. Pravilna tehnika i interpretacija rezultata ključni su za pravilno razlikovanje patoloških procesa gornjih i donjih motoneurona poput multiple skleroze, amiotrofične lateralne skleroze, ozljeda kralježnične moždine i spinalne mišićne atrofije, pri čemu se prisutnost smanjenih refleksa ili pojačanih refleksa smatra sigurnim znakom neurološke disfunkcije. Postoji pet osnovnih dubokih tetivnih refleksa: bicepsni, brahioradijalni, tricepsni, patelarni i gležanjski ili Ahilov refleks. Refleks bicepsa brachii izvodi se na način da se pacijentova podlaktica podupre tako da ju ispitivač nasloni na svoju podlakticu, s rukom u položaju između fleksije i ekstenzije, palac ispitivača postavlja se preko tetive bicepsa s prstima savijenim oko lakta te se udarcem brzo udari po palcu. Podlaktica bi se trebala saviti u laktu. Refleks tricepsa izvodi se na način da se pacijentova podlaktica položi na ispitivačevu podlakticu tako da je lakat u položaju između fleksije i ekstenzije te se udari iznad hvatišta tricepsa na olecranonu. Podlaktica bi se trebala ispružiti u laktu. Brahioradijalni refleks se izvodi na način da se podupre podlaktica pacijenta tako što se palac postavi oko lakta na hvatište tetive bicepsa brachii, a drugom rukom se udari po tetivi brahioradijalisa nakon čega bi se trebala dogoditi fleksija i supinacija podlaktice. Patelarni refleks izvodi se tako da pacijent sjedi krevetu s potkoljenicama savinutim preko ruba. Ispitivač

postavlja jednu ruku na pacijentovu natkoljenicu, a drugom rukom udari ispod patele po tetivi kvadricepsa nakon čega bi se trebala dogoditi ekstenzija koljena. Ahilov refleks izvodi se na način da pacijent leži u proniranom položaju na krevetu s nogama preko ruba kreveta. Ispitivač jednu ruku postavlja ispod dorzalne strane stopala te izvede blagu dorzalnu fleksiju stopala, a drugom rukom udari Ahilovu tetivu iznad hvatišta na petnu kost nakon čega bi stopalo trebalo izvesti plantarnu fleksiju (21).

## 2.9. Fiziologija sporta

Sportska aktivnost dovodi tijelo u stanje povećanog napora zbog intenzivnijeg mišićnog rada. Fiziologija sporta razjašnjava koji su to maksimalni napori koje je tijelo u stanju podnijeti bez štetnih posljedica, ali i krajnje mogućnosti tijela za vrijeme tih napora. Mjerenja koja se provode na sportašima nemaju prevelike razlike u osnovnim fiziološkim načelima kod muškaraca i žena, koliko s druge strane imaju razlike u kvantitativnim vrijednostima. Ove razlike odnose se na srčani minutni volumen, jakost mišića, plućnu ventilaciju, a do njih dolazi prvenstveno uslijed razlike u veličini i sustavu tijela te u hormonalnom sastavu tijela. Uzimajući u obzir ove parametre razmjerne masi mišićne mase, može se primijetiti kako vrijednosti izmjerene u žena iznose između 2/3 i 3/4 vrijednosti izmjerenih u muškaraca. No, ukoliko se snaga mišićne kontrakcije izrazi po centimetrima kvadratnim poprečnog presjeka, žena može proizvesti silu kontrakcije gotovo ekvivalentnu sili kontrakcije koju je proizveo muškarac, u vrijednosti od 30 do 40 N/cm<sup>2</sup>. Većina razlika ukupne efikasnosti mišićne mase prisutna je uslijed veće mišićne mase u muškaraca, a to je posljedica razlike u hormonskom sastavu organizma. Snaga mišića razlikuje se od sile kontrakcije mišića, a odnosi se na rad koji je mišić obavio u određenom vremenu. Određena je silom kontrakcije, duljinom puta kontrakcije i brojem kontrakcija u jednoj minuti. Mišić koji se maksimalno optereti prilikom treninga ima veću mogućnost za rast mišića, a samim time i povećanje snage mišića (3).

Mišićni tonus definiran je kao razina kontinuirane kontrakcije mišića dok je mišić u fazi relaksacije, odnosno kada ne podliježe aktivnosti. Medicinski gledano, ukoliko je u mišiću prisutan povećan tonus i palpacijom se doima tvrdim dijagnosticira se kao hipertoničan, ukoliko je prisutan optimalan tonus mišića dijagnosticira se kao normotoničan, ukoliko je prisutan smanjeni tonus dijagnosticira se kao hipotoničan, a ukoliko je tonus odsutan to je stanje atonusa (11).

Kao što je već pojašnjeno u poglavlju 2.3.2., mišići su sastavljeni od dvije vrste vlakana: brzih i sporih vlakana. Brza vlakna potrebna su za radnje koje zahtijevaju eksplozivne, intenzivne i brze kontrakcije mišića, dok su spora vlakna potrebna za radnje koje zahtijevaju sporije, dugotrajnije i slabije kontrakcije mišića. Brza mišićna vlakna se dakle mogu vidjeti u

sportovima kao što su dizanje utega, sprint, skok u dalj, plivanje i slično, dok se spora vlakna mogu vidjeti u sportovima poput maratona, triatlona, biatlona, biciklizma i slično (3).

### *2.9.1. Učinak sporta na brzinu reakcije*

U mnogim sportovima, pogotovo u timskim i borilačkim sportovima, sportaši istovremeno moraju obavljati zadatke uz veliki fizički napor i istovremeno donositi brze odluke potrebne za postizanje cilja. Utjecaj tjelesne kondicije i energetske potrošnje potrebne za izvođenje zadatka jednostavne reakcije tijekom vježbanja istražen je u istraživanju Brisswalter J. i sur. U ispitivanje je bilo uključeno 20 ispitanika podijeljenih u dvije skupine po 10 ispitanika. Prva skupina je bila sastavljena od treniranih trkača na srednje duge staze, a druga skupina je sadržavala studente bez redovite tjelesne aktivnosti. Ispitanici su izvodili zadatak jednostavne reakcije istovremeno vježbajući na cikloergometru pri različitim razinama relativne snage te odmah nakon vježbanja. Rezultati su pokazali smanjenje kognitivne izvedbe tijekom vježbanja u obje skupine, no nije zabilježen značajan učinak nakon vježbanja. Sukladno rezultatima, uočeno je da tjelesna kondicija ima značajan utjecaj na jednostavno vrijeme reakcije tijekom vježbanja. Ovi podaci interpretirani su obzirom na optimizaciju izvedbe s posebnim naglaskom na odnos između energetske potrošnje tijekom odrađivanja zadanog zadatka i zahtjeva za pažnjom (22).

Istraživanje provedeno od strane Roach A. i sur. spominje se kako su ranija istraživanja pokazala da vrijeme reakcije pojedinca može biti pokazatelj sposobnosti središnjeg živčanog sustava da prima i sinkronizira pokrete izražene kroz periferni živčani sustav. Ova kognitivno-motorička povezanost ključna je za mnoge aspekte svakodnevnog života, uključujući i donošenje brzih odluka u opasnosti, sportske sposobnosti, prevenciju ozljeda i održavanje autonomije s godinama. Budući da je poznato kako tjelesna aktivnost poboljšava protok krvi i kisika u mišićnu i mozak, pretpostavlja se da će ona također utjecati i na vrijeme reakcije pojedinca, obzirom da su i mozak i mišićna povezani s vremenom reakcije. Kako bi se ova tvrdnja utvrdila, provedeno je istraživanje u kojemu je sudjelovalo 30 osoba kojima je izmjereno jednostavno vrijeme reakcije, krvni tlak i puls prije i nakon tjelesne aktivnosti. Rezultati su pokazali kako je tjelesna aktivnost smanjila vrijeme reakcije, što znači da je došlo do značajnog poboljšanja u brzini reakcije (23).

Vježbanje je pokazalo pozitivan učinak na zdravlje. Međutim, u časopisu *Exercise and Sport Sciences Reviews* iznosi se niz eksperimenata koji ukazuju na usporavanje vremena reakcije na višim razinama intenziteta vježbanja. Autor objašnjava sporije vrijeme reakcije kao smanjenje periferne vizualne percepcije i predlaže mehanizam temeljen na smanjenoj

cerebralnoj oksigenaciji. Ovi nalazi postavljaju pitanje postoji li utjecaj određenih alternativnih mehanizama na sporije vrijeme reakcije. U ovom istraživanju proučavalo se vrijeme reakcije u desnoj ruci na vizualni podražaj. Vrijeme reakcije proučavalo se u mirovanju i u tijeku vježbanja na cikloergometru. Vizualni podražaj prikazivao se na različitim kutovima ekscentričnosti od središnje točke očiju. Tijekom vježbanja, premotoričko vrijeme reakcije bilo je duže pri većem opterećenju u odnosu na reakciju u mirovanju. Premotoričko vrijeme reakcije bilo je sporije pri širokom kutu u usporedbi sa središnjom točkom, što objašnjava da je vrijeme reakcije sporije za periferni vid. No, usprkos tomu interakcija između kuta ekscentričnosti i intenziteta vježbanja nije bila značajna, što otvara mogućnost da vizualna percepcija možda nije jedini mehanizam koji je potrebno razmotriti. Čak i jednostavan zadatak koji zahtijeva uporabu i obradu vizualnih informacija za stvaranje sile može zahtijevati mrežu moždane aktivnosti koja nadilazi vizualni korteks. Budući da intenzivno vježbanje utječe na podskup regija mozga potrebnih tijekom zadatka jednostavne reakcije, moguće je da su u vizualnu percepciju uključeni i drugi mehanizmi koje bi bilo potrebno razmotriti budućim studijima. Ovakve studije mogle bi ispitati učinke visokointenzivnog vježbanja na vrijeme reakcije kada je podražaj auditivan, somatosenzoran i vizualan. Fiziološko objašnjenje dano ovim radom bilo bi podržano ukoliko se vježbanjem usporava vrijeme reakcije samo na vizualne podražaje (24).

Tjelesna aktivnost poboljšava brojne aspekte mentalnog funkcioniranja kao što su raspoloženje, samopoštovanje i opća psihološka dobrobit. Tjelesne vježbe poboljšavaju i štite funkciju mozga, na temelju čega se može zaključiti da fizički aktivne osobe imaju bolju kognitivnu funkciju i manji rizik od razvoja kognitivnih poremećaja u usporedbi s onim osobama koje imaju sjedilački način života. Koncentracija je usmjeravanje pozornosti na određeni zadatak s kojim se osoba susreće, odnosno povlačenje pozornosti s objekata koji ometaju pojedinca u obavljanju određenog zadatka i njeno usmjeravanje na zadatak kako bi se postigao zadani cilj. Svaka aktivnost zahtijeva određenu količinu koncentracije, a vježbanje pomaže kod opuštanja uma i postizanja bolje koncentracije. Poboljšanje vremena reakcije pomaže sportašu da postigne bolje rezultate ubrzavanjem donošenja odluka tijekom aktivnosti. Također, ova studija pokazuje kako tjelesna aktivnost poboljšava kognitivne sposobnosti (25).

Istraživanje provedeno od strane Atan T. i Akyol P. uključivalo je 215 sportaša različitih sportskih disciplina te 44 nespportaša kod kojih se ispitalo vrijeme reakcije povezano s različitim sportskim disciplinama te povezanost vremena reakcije s auditornim i vizualnim parametrima te parametrima vezanih uz povećani broj brzih reakcija. Kao zaključak postavila se činjenica kako je vrijeme reakcije u nespportaša sporije od vremena reakcije sportaša neovisno o vrsti sporta. Također, parametri vremena reakcije u sportaša ne mijenjaju se ovisno o vrsti sporta,



osim u sportaša koji treniraju judo. Ustanovila se i značajna povezanost između vizualnih i auditornih parametara te parametara vezanih uz povećani broj brzih reakcija (26).

Istraživanje Vuk S. odnosilo se na utvrđivanje vremena reakcije i postojanje značajne razlike u vremenu reakcije na auditivni podražaj u usporedbi s vizualnim podražajem u sportaša koji treniraju taekwondo prilikom maksimalnog udarca rukom. U istraživanje je bilo uključeno 24 sportaša iz dva različita kluba koji su dalje bili ispitivani na Punch sustavu koji šalje vizualne i zvučne informacije ispitaniku. Utvrđeno je kako ne postoji značajna razlika u vremenu reakcije u slučajevima izloženosti zvučnom signalu, odnosno vizualnom signalu. Pretpostavlja se kako se treninzima koji dominantno uključuju vizualne informacije mogu postići znatno bolji rezultati ispitivanja brzine reakcije na vizualne stimulse (27).

U slučajevima u kojima se ispituju spolne razlike između ispitanika u obavljanju određenih izvršnih funkcija ne postoje isključivo jednoznačni rezultati. Kod ovakvih ispitivanja potrebno je usmjeriti istraživanje ka specifičnim mjerama, kao što je primjerice pritiskanje točne tipke u trenutku prikaza standardnog ili odstupajućeg podražaja. Iako ovim testom nisu pronađene spolne razlike, ipak se ustanovilo kako žene brže reagiraju na devijantan podražaj za razliku od muškaraca. Također, potvrđena je i povećana uspješnost žena u zadacima inhibicije. Pretpostavlja se kako postoji i evolucijska osnova u razlikama u izvršnim funkcijama između muškaraca i žena koje zahtijevaju bihevioralnu inhibiciju. Primjerice, pretpostavka je kako je mogućnost inhibicije i kontrole impulsa kod žena tijekom evolucije omogućavalo veću adaptaciju nego muškarcima. Osim toga, utvrdilo se i kako žene bolje zadržavaju pozornost u situacijama koje zahtijevaju procesiranje somatosenzornih podražaja, ali i da je radno odnosno kratkotrajno pamćenje u žena lošije nego ono u muškaraca u distrakcijskim situacijama. Što se tiče premještanja pozornosti s jednog objekta ili zadatka na drugi, nisu se utvrdile znatne razlike u spolovima (28).

Učestalo izlaganje osobe psihički zahtjevnim situacijama dovodi do transfera mentalnih vještina te poticanja razvoja neophodnih kognitivnih operacija. Jedna od najčešćih kategorizacija sportova su na „samoupravljanje“ sportove, odnosno one u kojima sportaš sam odlučuje kako će reagirati u tijeku sportske aktivnosti, te na „izvana upravljane“ sportove, odnosno na sportove u kojima se od sportaša očekuje prilagodba ostalim sudionicima u tom sportu. Pretpostavka je upravo da sportaši koji se bave „samoupravljačkim“ sportovima imaju bolje kognitivne sposobnosti od onih koji se bave „izvana upravljanim“ sportovima (28).

Povratak sportu nakon sportske ozljede može biti dugačak i težak proces za sportaša. Kako im se stanje poboljšava, ozlijeđeni sportaši nastavljaju s programima snaženja i kondicije te specifičnim sportskim aktivnostima potrebnim za taj sport kako bi ishodi rehabilitacije bili

što kvalitetniji, a samim time i rezultati nakon ozljede bit će gotovo jednako dobri kao i prije ozljede (29).

### **3. CILJEVI I HIPOTEZE**

C1: Ispitati vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata koji se bave sportom i studenata koji se ne bave sportom.

C2: Ispitati razlikuje li se vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studentica i kod studenata.

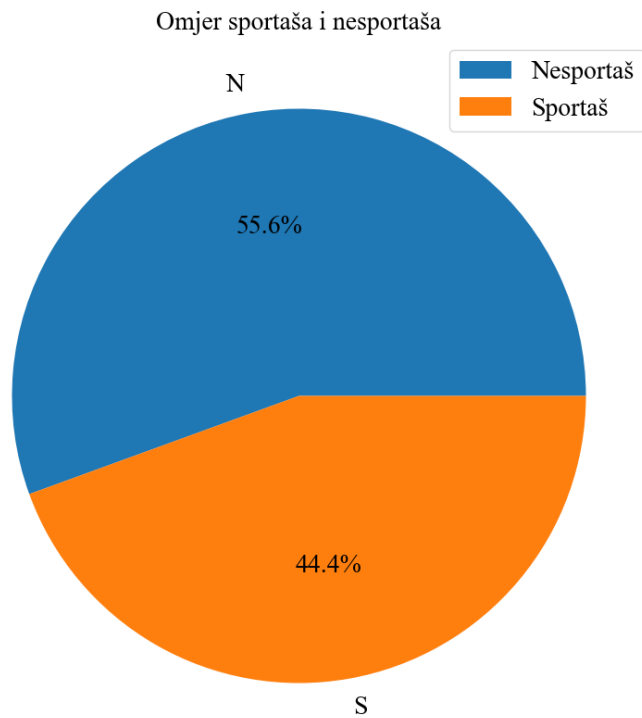
H1: Vrijeme reakcije kraće je u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata koji se bave sportom nego kod studenata koji se ne bave sportom.

H2: Studentice imaju kraće vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci nego studenti.

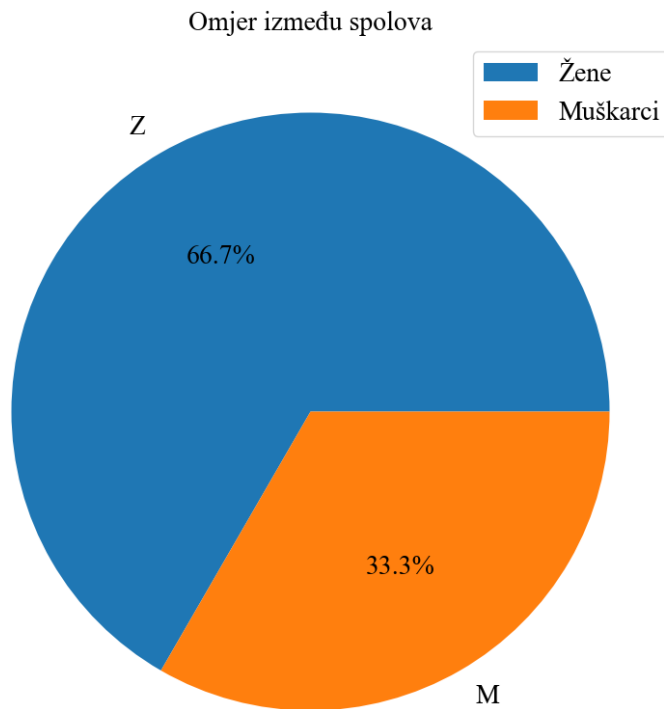
### **4. MATERIJALI I METODE**

#### **4.1. Materijali**

Ispitanici na kojima se ovo istraživanje provodilo bili su studenti Fakulteta zdravstvenih studija, Sveučilišta u Rijeci, u dobi između 18 i 26 godina, muškog i ženskog spola. Predviđena skupina je bila 100 ispitanika, 50 ispitanika koji se bave sportom i 50 ispitanika koji se ne bave sportom. Prema spolu, predviđen omjer iznosio je 50% ispitanika i 50% ispitanica. Zbog poteškoća pronalaženja ispitanika koji su voljni sudjelovati u istraživanju, prikupljena je skupina od 90 ispitanika, 40 ispitanika koji se bave sportom i 50 ispitanika koji se ne bave sportom (Slika 7), s omjerom spolova 66.7% žena i 33.3% muškaraca (Slika 8).

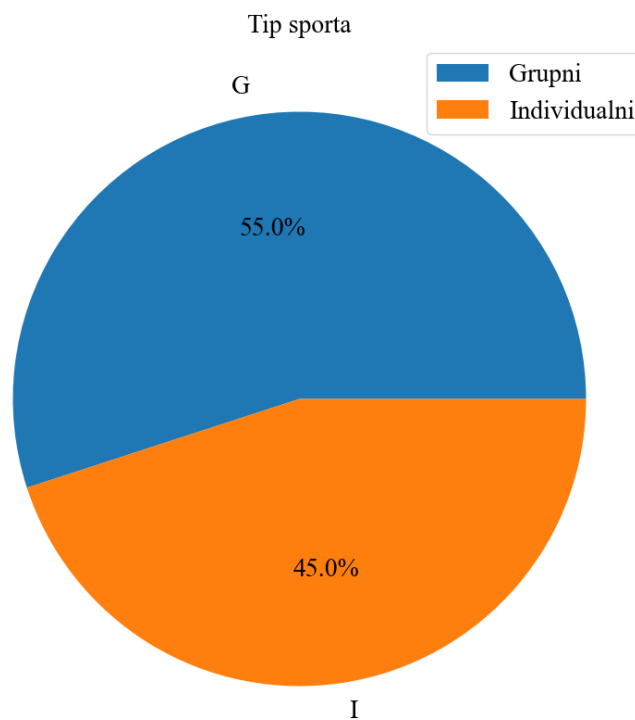


**Slika 7:** Omjer sportaša i nesportaša



**Slika 8:** Omjer ispitanika između spolova

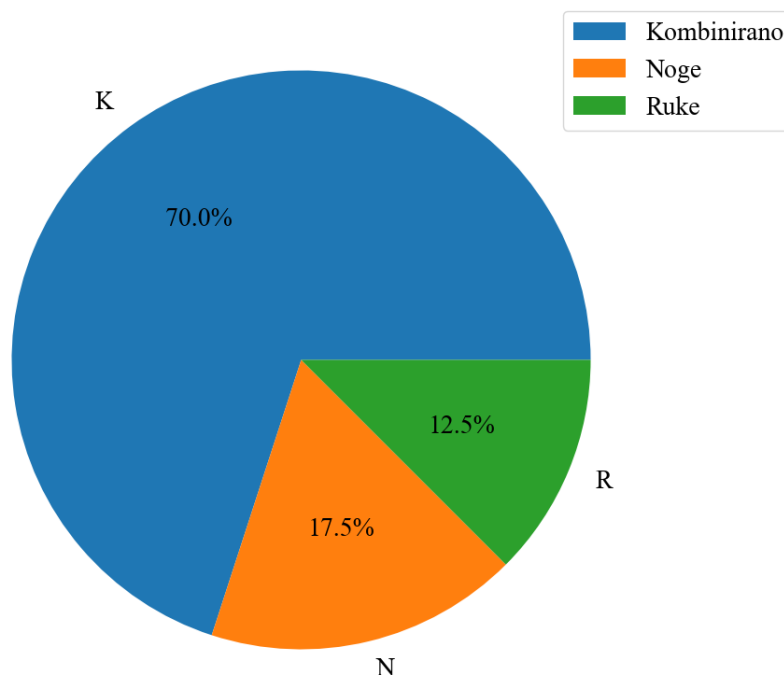
Također, ispitanici su bili podijeljeni prema tipu sporta kojim se bave, odnosno bave li se grupnim ili individualnim sportom, prema djelovima tijela koji zahtijevaju veću aktivnost u sportu gdje se obraćala pozornost na intenzivnije korištenje ruku ili nogu te na podjednako korištenje i ruku i nogu. Uz to, obratila se pozornost na oštećenja lokomotornog sustava koja su kod ispitanika uslijedila u proteklih godinu dana. Podjelom na grupne i individualne sportove dobio se omjer od 55.0% studenata koji se bave grupnim sportom i 45.0% studenata koji se bave individualnim sportom (Slika 9).



**Slika 9:** Omjer ispitanika prema tipu sporta

Prema djelovima tijela, odnosno ekstremitetima, koji zahtijevaju veću aktivnost u sportu dobio se omjer od 70.0% ispitanika čiji sport zahtijeva podjednaku aktivnost ruku i nogu, 17.5% ispitanika čiji sport zahtijeva veću aktivnost nogu i 12.5% ispitanika čiji sport zahtijeva veću aktivnost ruku (Slika 10).

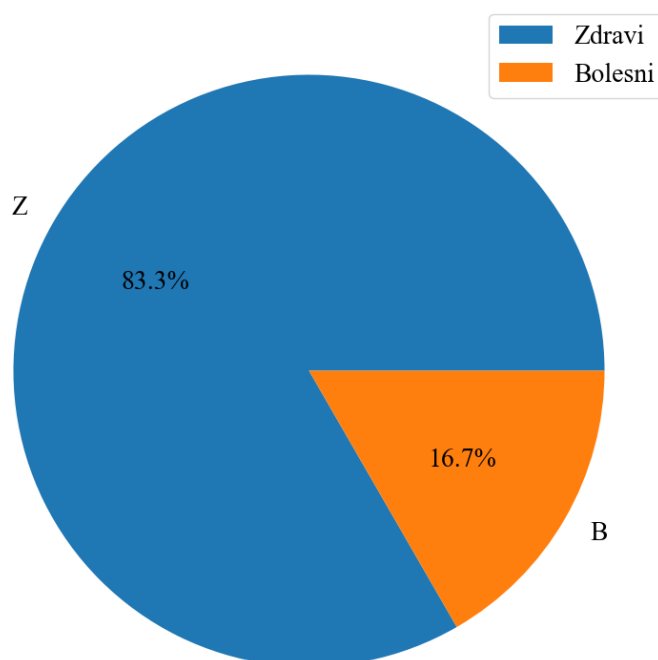
Najzastupljeniji dio tijela koji se koristi u sportu



**Slika 10:** Omjer ispitanika prema korištenju ekstremiteta u sportu

Što se tiče podjele po ozljedama zadobivenim u proteklih godinu dana, odnosno njihovom odsutnošću, dobiven je omjer od 83.3% ispitanika koji nisu zadobili nikakvu ozljedu i 16.7% ispitanika koji su pretrpjeli ozljedu (Slika 11).

Omjer zdravih i bolesnih



**Slika 11:** Omjer ispitanika koji su pretrpjeli ozljedu lokomotornog sustava (bolesni) i koji nisu pretrpjeli ozljedu lokomotornog sustava (zdravi)

Istraživanje će se provoditi u prostorijama Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci u kabinetu Fizioterapijske procjene.

Kriteriji prema kojima će ispitanici biti uključeni u istraživanje bit će dob, spol te kriterij bavljenje ili nebavljenje sportom vidljiv iz upitnika. Iz istraživanja će biti isključeni ispitanici s neurološko mišićnim oboljenjima.

#### **4.2. Postupak i instrumentarij**

Način prikupljanja podataka o ispitaniku u svrhu provođenja ovog istraživanja bit će uz pomoć demografskog upitnika kako bi se utvrdila dob, spol, dominantna strana, bavi li se osoba sportom, vrsta sporta kojim se bavi i boluje li od neke bolesti.

Od mjernih instrumenata koristit će se standardizirani test za mjerenje brzine reakcija uz pomoć testa pada ravnala (eng. *Ruler drop test*). Za korištenje ovog testa nije potrebna licenca autora. Test pada ravnala koristi gravitacijsku konstantu kako bi se ustanovilo koliko vremena osobi treba da odgovori na padanje objekta, odnosno koliki put ravnalo može prijeći do trenutka kada ga osoba uhvati. Ispitanik sjedi uz rub stola, polažući podlakticu flektiranu pod 90° na stol, šaku pruža van podloge. Ispitivač postavlja ravnalo okomito u zraku između ispitanikova palca i kažiprsta u ravnini sa znakom nule, pazeći pritom da ravnalom ne dotiče prste ispitanika. U trenutku kada je ispitanik spreman za izvođenje testa, potvrđuje odgovorom „DA“ na upit ispitivača je li spreman. Ispitivač bez ikakve najave ispusti ravnalo, a ispitanik tada mora što je brže moguće uhvatiti ravnalo. Ispitanik tri puta ponavlja test s dominantnom i nedominantnom rukom te se nakon toga izračunava prosječna brzina reakcije. Za izračun pojedinačnog rezultata potrebno je s ravnala iščitati udaljenost na kojoj su se prsti zaustavili u milimetrima te s pomoću izvedenice formule za slobodni pad\* izračunati koliko vremena je ravnalo padalo do trenutka kad ga je ispitanik uhvatio. Za potrebe točnog matematičkog izračunavanja vremena reakcije potrebno je svaki dobiveni rezultat na ravnalu pretvoriti u metre.

$$*t = \sqrt{2h \div g} \text{ [sec.]}$$

U priloženoj formuli,  $t$  označava vrijeme brze reakcije,  $h$  označava put koji je ravnalo prošlo do trenutka kad ga je ispitanik uhvatio, a  $g$  označava gravitacijsku konstantu za koju će se uzeti vrijednost 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Od dobivena tri rezultata, za svaku ruku, izračunat će se prosječno vrijeme reakcije kao količnik sume tri izračunata vremena. Dobiveno prosječno vrijeme predstavlja vrijeme ispitanikove reakcije. Što je vrijeme reakcije kraće, to je brzina reakcije veća (30, 31). Ako se

izvodi pravilno, ovaj test osigurava vjerodostojne i stabilne rezultate pri mjerenju vremena brzine reakcije ispitanika (31). Vrijeme trajanja testa pada ravnala iznosi 10 min.

### 4.3. Statistička obrada podataka

Za statističku obradu dobivenih rezultata koristit će se MedCalc program za statistiku, besplatna inačica (*eng. MedCalc statistical software – free trial*). Varijable spol, dominantna i nedominantna ruka, sportaš i ne sportaš su nepromjenjive varijable i bit će prikazane u nominalnoj ljestvici, a bit će opisane aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom. Varijabla brzina reakcije je zavisna varijabla i bit će prikazana omjernom ljestvicom. Za izračun povezanosti u hipotezama, ovisno o normalnosti distribucije rezultata, koristit će se Pearsonov koeficijent povezanosti na razini statističke značajnosti.

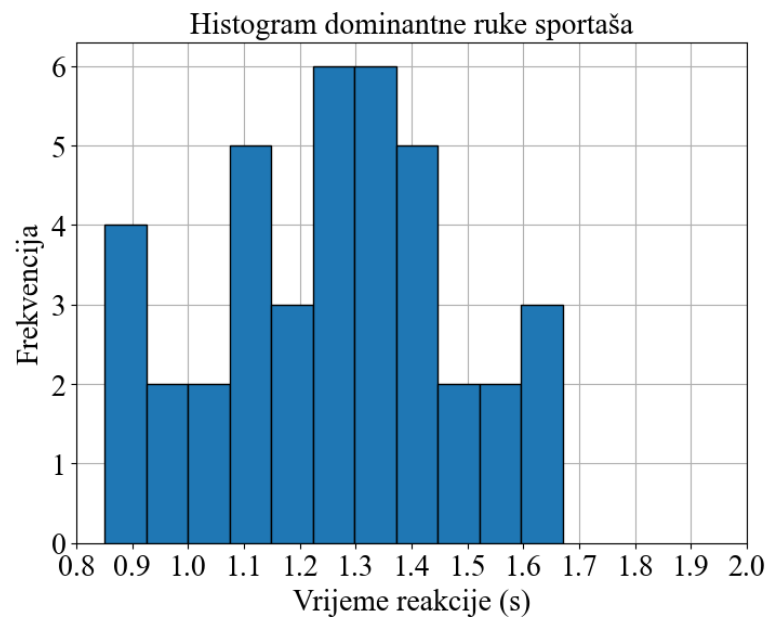
## 5. REZULTATI

Dobiveni rezultati mjerenja vremena reakcije u sportaša pokazuju kako prosječno vrijeme reakcije sportaša u dominantnoj ruci iznosi 1.26 sekundi (s) uz standardnu devijaciju 0.22 s, a u nedominantnoj ruci iznosi 1.33 s uz standardnu devijaciju 0.21 s. Nadalje, prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci nespportaša iznosi 1.44 s uz standardnu devijaciju 0.23 s, dok u nedominantnoj ruci iznosi 1.50 s uz standardnu devijaciju 0.22 s. Također, istaknute su minimalne vrijednosti prosječnog vremena reakcije sportaša gdje one iznose 0.85 s za dominantnu ruku i 0.84 za nedominantnu ruku te nespportaša gdje iznose 0.86 s za dominantnu ruku i 0.91 s za nedominantnu ruku, kao i maksimalne vrijednosti prosječnog vremena reakcije sportaša u iznosu 1.67 s za dominantnu ruku i 1.80 s za nedominantnu ruku te za nespportaše u iznosu 1.95 s za dominantnu ruku i 2.02 s za nedominantnu ruku. Navedeni rezultati sažeti su tabličnim prikazom u Tablici 2 i grafičkim prikazima na Slici 12, Slici 13, Slici 14 i Slici 15.

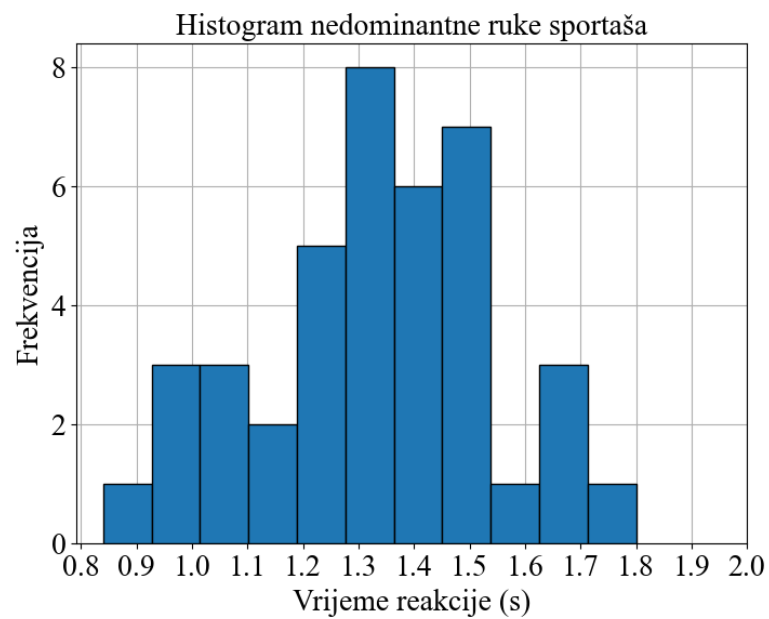
**Tablica 2:** Prikaz rezultata istraživanja za nespportaše i sportaše

	NESPORTAŠI		SPORTAŠI	
	Dominantna ruka (s)	Nedominantna ruka (s)	Dominantna ruka (s)	Nedominantna ruka (s)
Ukupno	50.00	50.00	40.00	40.00
Aritmetička sredina	1.44	1.50	1.26	1.33
Standardna devijacija	0.23	0.22	0.22	0.21
Minimalna vrijednost	0.86	0.91	0.85	0.84

Maksimalna vrijednost	1.95	2.02	1.67	1.80
-----------------------	------	------	------	------

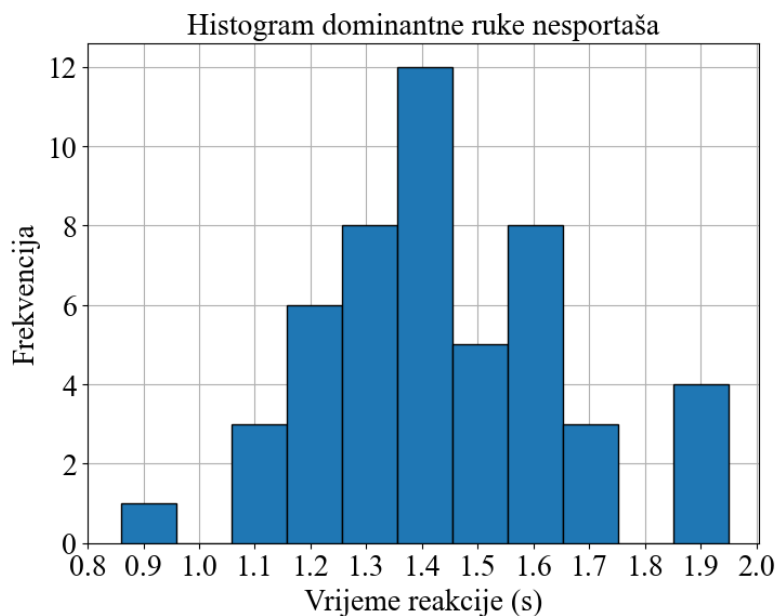


**Slika 12:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije dominantne ruke sportaša

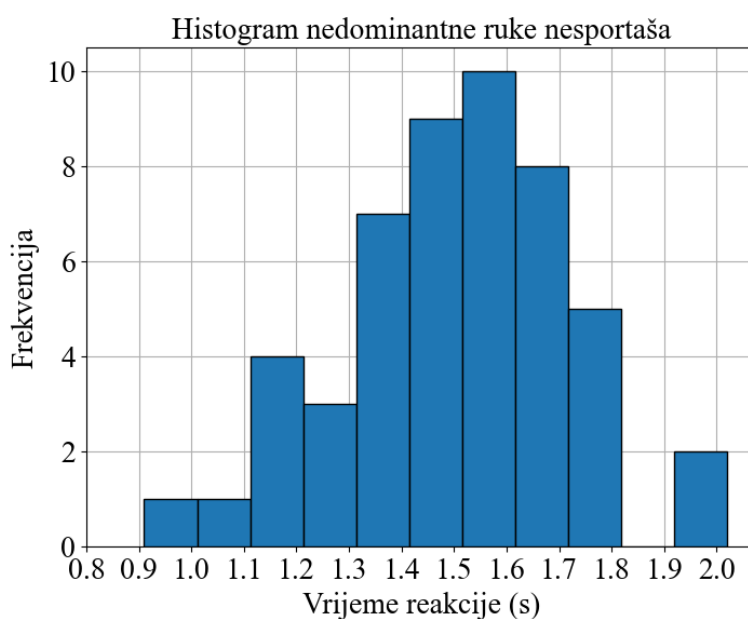


**Slika 13:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke sportaša





**Slika 14:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije dominantne ruke nesportaša



**Slika 15:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke nesportaša

Tablica 3 sadrži prikaz podataka prosječnog vremena reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci sportaša podijeljenih po tipu sporta kojim se bave na grupne i individualne sportove, uz prikaz standardne devijacije za svaki rezultat, neovisno o spolu. Za sportaše koji se bave grupnim sportovima dobiveni su rezultati prosječnog vremena reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.30 s uz standardnu devijaciju 0.20 s, a u nedominantnoj ruci u iznosu 1.40 s uz standardnu devijaciju 0.18 s. Za sportaše koji se bave individualnim sportovima dobiveni su

rezultati prosječnog vremena reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.20 s uz standardnu devijaciju 0.24 s te u nedominantnoj ruci u iznosu 1.25 s uz standardnu devijaciju 0.23 s.

**Tablica 3:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci sportaša s obzirom na tip sporta, uz pripadajuće standardne devijacije

	GRUPNI SPORT (s)		INDIVIDUALNI SPORT (s)	
	Dominantna ruka	Nedominantna ruka	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
Aritmetička sredina	1.30	1.40	1.20	1.25
Standardna devijacija	0.20	0.18	0.24	0.23

Tablica 4 prikazuje prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci sportaša s obzirom na ekstremitete koji zahtijevaju veću aktivnost u sportu, neovisno o spolu. Sportaši koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost gornjih ekstremiteta (ruku) postigli su prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.19 s uz standardnu devijaciju 0.21 s, a u nedominantnoj ruci u iznosu 1.37 s uz standardnu devijaciju 0.15 s. Sportaši koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost donjih ekstremiteta (nogu) postigli su prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.28 s uz standardnu devijaciju 0.26 s, a u nedominantnoj ruci u iznosu 1.38 s uz standardnu devijaciju 0.26 s. Sportaši koji se bave sportom koji zahtijeva kombiniranu aktivnost ruku i nogu postigli su prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.26 s uz standardnu devijaciju 0.22 s, a u nedominantnoj ruci u iznosu 1.31 s uz standardnu devijaciju 0.21 s.

**Tablica 4:** Prikaz prosječnog vremena reakcije sportaša u dominantnoj i nedominantnoj ruci s obzirom na aktivnost ekstremiteta, uz standardnu devijaciju

	DOMINANTNA RUKA (s)		NEDOMINANTNA RUKA (s)	
	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
Ruke	1.19	0.21	1.37	0.15
Noge	1.28	0.26	1.38	0.26
Kombinirano	1.26	0.22	1.31	0.21

U Tablici 5 prikazani su rezultati mjerenja vremena reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci s obzirom na prisutnost ozljede lokomotornog sustava u pojedinca u proteklih godinu dana (u tablici označeni kao „bolesni“) ili odsutnost ozljede lokomotornog sustava (u tablici označeni kao „zdravi“), neovisno o bavljenju sportom. Rezultati u zdravih

ispitanika prikazuju prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.35 s uz standardnu devijaciju 0.25 s, a u nedominantnoj ruci u iznosu 1.43 s uz standardnu devijaciju 0.24 s. Rezultati u ispitanika kod kojih je ozljeda lokomotornog sustava bila prisutna u proteklih godinu dana prikazuju prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u iznosu 1.39 s uz standardnu devijaciju 0.19 s te u nedominantnoj ruci u iznosu 1.40 s uz standardnu devijaciju 0.21 s.

**Tablica 5:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u zdravih i bolesnih ispitanika uz pripadajuće standardne devijacije

	ZDRAVI (s)		BOLESNI (s)	
	Dominantna ruka	Nedominantna ruka	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
Aritmetička sredina	1.35	1.43	1.39	1.40
Standardna devijacija	0.25	0.24	0.19	0.21

Gledajući prema spolovima, dobiveni su rezultati prosječnog vremena reakcije u dominantnoj ruci sportaša u iznosu 1.20 s uz standardnu devijaciju 0.22 s i u nedominantnoj ruci u iznosu 1.33 s uz standardnu devijaciju 0.25 s, dok u nesportaša dobiveni rezultat prosječnog vremena reakcije u dominantnoj ruci iznosi 1.38 s uz standardnu devijaciju 0.23 s, a u nedominantnoj ruci iznosi 1.54 s uz standardnu devijaciju 0.23 s. U sportašica i nesportašica ti su rezultati malo viši, s prosječnim vremenom reakcije u dominantnoj ruci sportašica u iznosu 1.30 s uz standardnu devijaciju 0.21 s i prosječnim vremenom reakcije u nedominantnoj ruci sportašica u iznosu 1.33 s uz standardnu devijaciju 0.18 s te prosječnim vremenom reakcije u dominantnoj ruci nesportašica u iznosu 1.46 s uz standardnu devijaciju 0.23 s i prosječnim vremenom reakcije u nedominantnoj ruci nesportašica u iznosu 1.48 s uz standardnu devijaciju 0.22 s. Dobiveni rezultati sažeti su u tabličnom prikazu u Tablici 6 i Tablici 7.

**Tablica 6:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u studenata, uz standardnu devijaciju

	STUDENTI (s)			
	SPORTAŠI		NESPORTAŠI	
	Dominantna ruka	Nedominantna ruka	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
Aritmetička sredina	1.20	1.33	1.38	1.54
Standardna devijacija	0.22	0.25	0.23	0.23

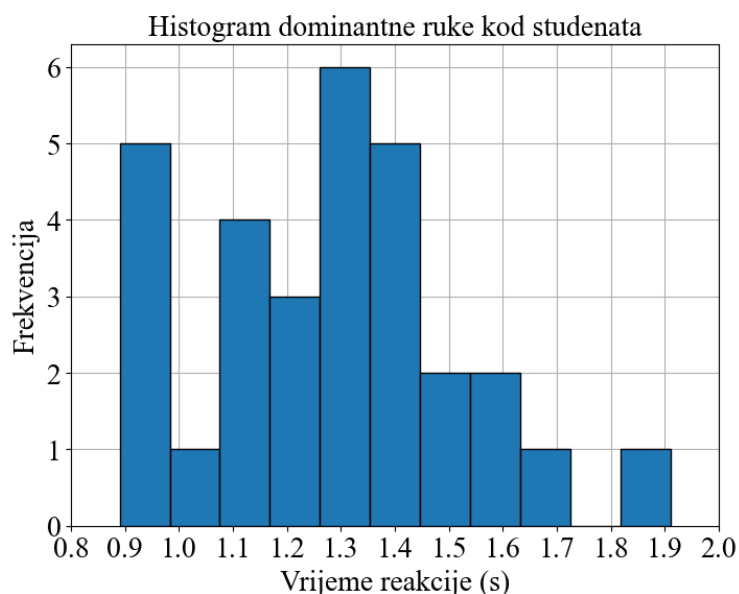
**Tablica 7:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u studentica, uz standardnu devijaciju

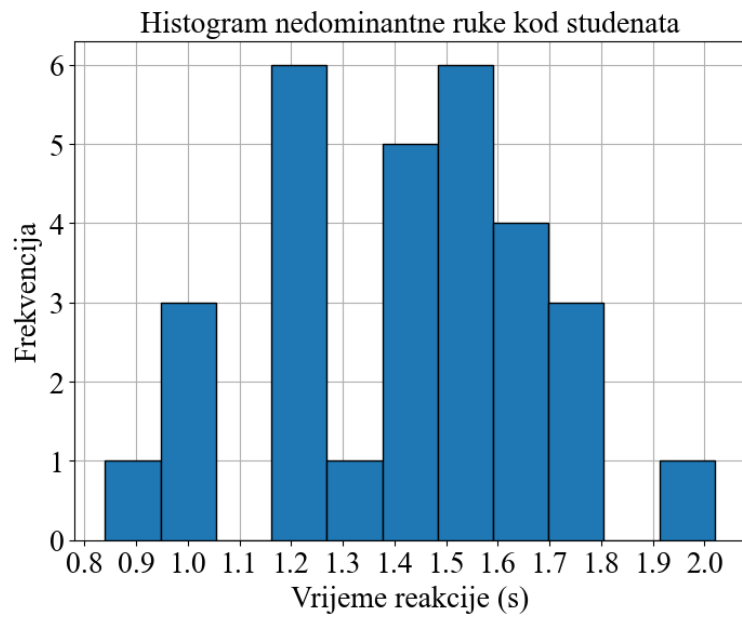
	STUDENTICE (s)			
	SPORTAŠICE		NESPORAŠICE	
	Dominantna ruka	Nedominantna ruka	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
Aritmetička sredina	1.30	1.33	1.46	1.48
Standardna devijacija	0.21	0.18	0.23	0.22

Promatranjem mjerenja studenata i studentica neovisno o bavljenju sportom dobivaju se sljedeći rezultati: prosječno vrijeme reakcije studentica u dominantnoj ruci iznosi 1.40 s uz standardnu devijaciju 0.23 s, a u nedominantnoj ruci iznosi 1.43 s uz standardnu devijaciju 0.22 s, dok prosječno vrijeme reakcije studenata u dominantnoj ruci iznosi 1.27 s uz standardnu devijaciju 0.24, a u nedominantnoj ruci iznosi 1.41 s uz standardnu devijaciju 0.26 s. Sažet prikaz ovih rezultata tablično je prikazan u Tablici 8 uz rezultate mjerenja prikazane grafičkim prikazom na Slici 16, Slici 17, Slici 18 i Slici 19.

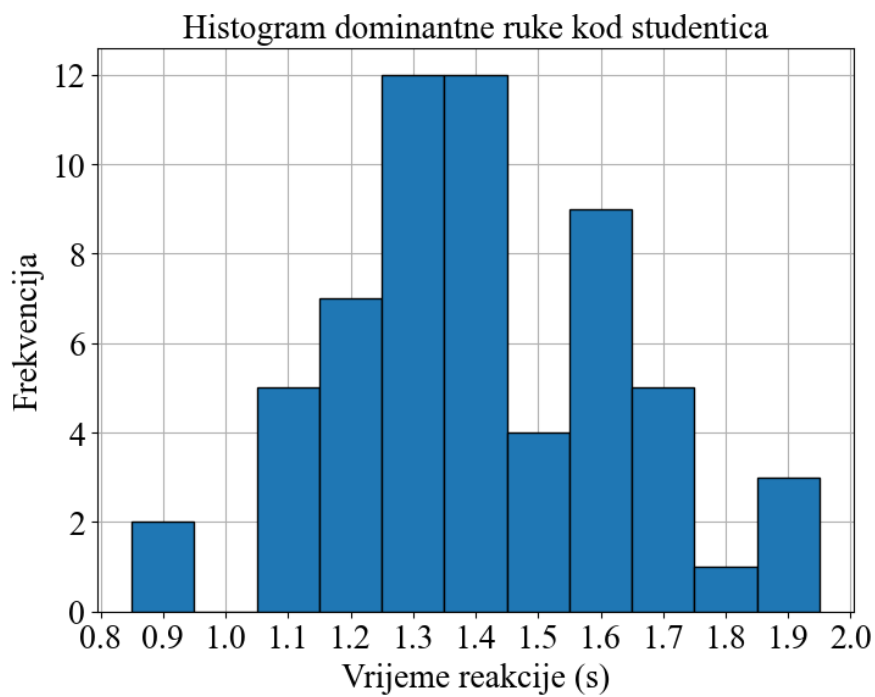
**Tablica 8:** Prikaz prosječnog vremena reakcije studenata i studentica uz standardnu devijaciju

	STUDENTI (s)		STUDENTICE (s)	
	Dominantna ruka	Nedominantna ruka	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
Aritmetička sredina	1.27	1.41	1.40	1.43
Standardna devijacija	0.24	0.26	0.23	0.22

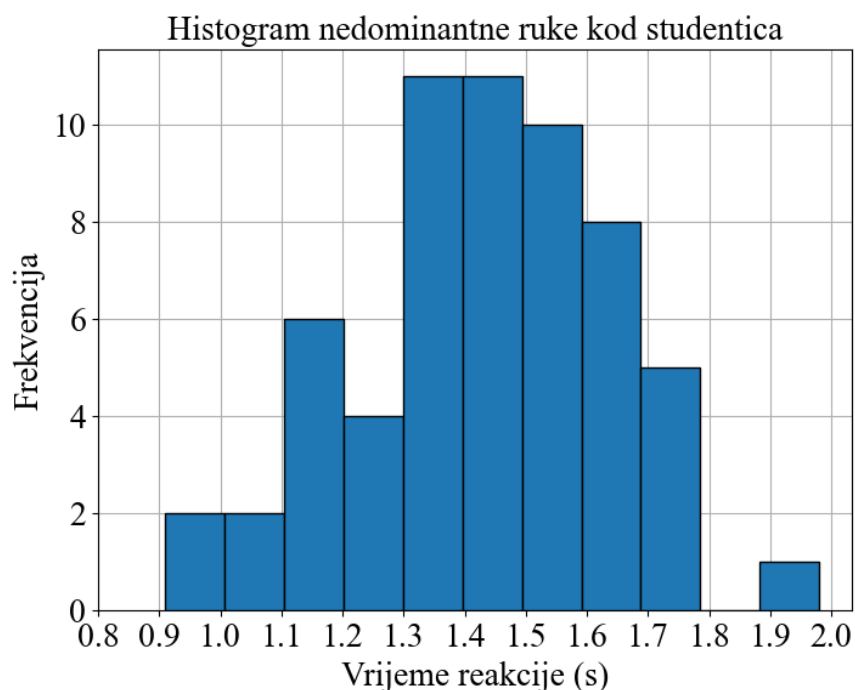
**Slika 16:** Grafički prikaz vremena reakcije u dominantnoj ruci kod studenata



**Slika 17:** Grafički prikaz vremena reakcije u nedominantnoj ruci kod studenata

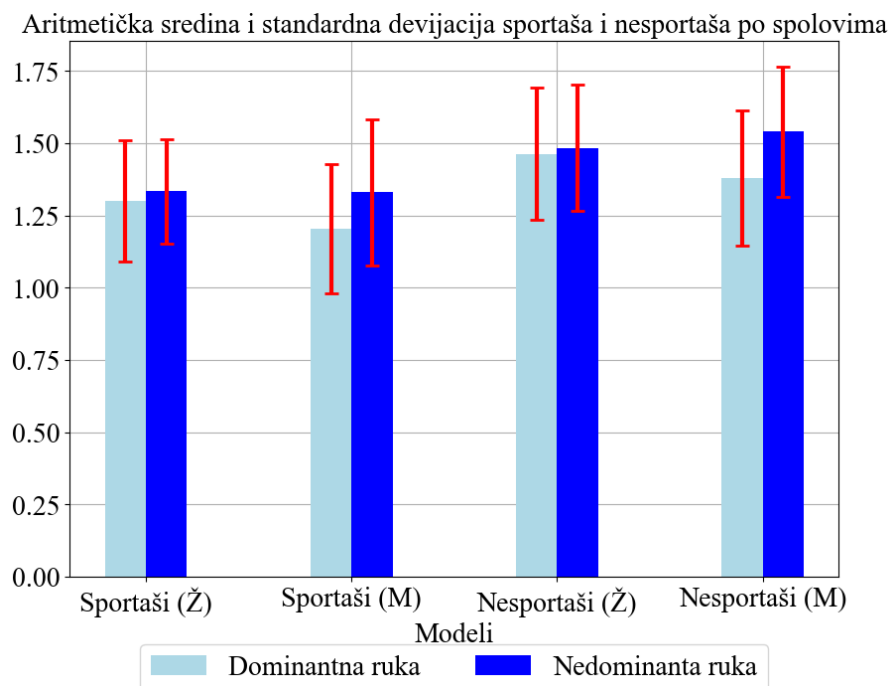


**Slika 18:** Grafički prikaz vremena reakcije u dominantnoj ruci kod studentica



**Slika 19:** Grafički prikaz vremena reakcije u nedominantnoj ruci kod studentica

Slika 20 prikazuje sumirani prikaz konačnih rezultata istraživanja u stupčastom dijagramu uz prikaz aritmetičke sredine i standardne devijacije dobivenih podataka. Ispitanici su razvrstani po spolovima i po bavljenju sportom te se prikazuju konačni rezultati vremena reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci.



**Slika 20:** Prikaz konačnih rezultata istraživanja stupčastim dijagramom

## 6. RASPRAVA

Istraživanje je pokazalo kako je prosječno vrijeme reakcije sportaša i u dominantnoj i u nedominantnoj ruci kraće od prosječnog vremena reakcije nesportaša, što potvrđuje prvu postavljenu hipotezu istraživanja. Prosječno vrijeme reakcije dominantne ruke sportaša kraće je za 0.18 s od prosječnog vremena reakcije dominantne ruke nesportaša, a prosječno vrijeme reakcije nedominantne ruke sportaša kraće je za 0.17 s od prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke nesportaša. Kao i u istraživanjima Aydin i sur., Brisswalter i sur., Roach i sur., Malhotra i sur. te Betlehem R., pokazalo se kako tjelesna kondicija i tjelesna aktivnost imaju utjecaja na skraćanje vremena reakcije te samim time i na povećanje brzine reakcije u pojedinca ( 5, 22, 23, 25, 28).

Ukoliko se ispitanici podijele u dvije skupine po spolovima na studente i studentice, rezultati pokazuju kako studenti imaju kraće vrijeme reakcije od studentica i u dominantnoj i u nedominantnoj ruci, što se kosi s rezultatima dobivenim u istraživanju Jha i sur. (6). Naime, pokazalo se kako je prosječno vrijeme reakcije dominantne ruke studenata kraće za 0.13 s od prosječnog vremena reakcije dominantne ruke studentica, dok je prosječno vrijeme reakcije nedominantne ruke studenata kraće za 0.02 s od prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke studentica. Međutim, ukoliko se studenti i studentice dodatno podijele s obzirom na bavljenje, odnosno ne bavljenje sportom na sportaše i sportašice odnosno nesportaše i nesportašice, dobiva se rezultat kako sportaši imaju za 0.10 s kraće vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u odnosu na sportašice, isto kao što i nesportaši imaju za 0.08 s kraće vrijeme reakcije u dominantnoj ruci u odnosu na nesportašice. S druge strane, dobiva se rezultat kako je vrijeme reakcije nedominantne ruke sportaša i sportašica jednake vrijednosti, dok je vrijeme reakcije nedominantne ruke nesportašica u ovom slučaju kraće za 0.06 s u usporedbi s nesportašima. Ovi rezultati odbacuju drugu postavljenu hipotezu istraživanja.

Također, promatranjem mogućih prednosti ili nedostataka ispitanika vezanih uz prisutnost ozljede lokomotornog sustava u proteklih godinu dana, tip sporta kojim se bave te koji ekstremiteti zahtijevaju najveću aktivnost u sportu kojim se bave, može se zaključiti kako postoji utjecaj navedenih faktora na prosječno vrijeme reakcije ispitanika.

Pokazalo se kako, neovisno o sportu, ispitanici koji nisu imali ozljedu lokomotornog sustava u proteklih godinu dana imaju kraće prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci za 0.04 s od ispitanika koji su pretrpjeli ozljedu, dok u nedominantnoj ruci kraće prosječno vrijeme reakcije imaju ispitanici koji su pretrpjeli ozljedu za 0.03 s u odnosu na ispitanike koji nisu pretrpjeli ozljedu. No, također se može uočiti i kako je razlika u prosječnom vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke u ispitanika koji su pretrpjeli ozljedu manja

(razlika iznosi 0.01 s, s kraćim vremenom reakcije u dominantnoj ruci) od razlike u prosječnom vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke u ispitanika koji nisu pretrpjeli ozljedu (razlika iznosi 0.08 s, s kraćim vremenom reakcije u dominantnoj ruci). Referirajući se na istraživanje Kraemer i sur., ova pojava može biti posljedica rehabilitacije nakon ozljede (29).

Gledajući rezultate vezane za grupni i individualni sport, pokazalo se da ispitanici koji se bave grupnim sportom imaju lošije vrijeme reakcije od ispitanika koji se bave individualnim sportom. Također, ispitanici koji se bave individualnim sportom imaju manju razliku u prosječnom vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke (razlika iznosi 0.05 s, s kraćim vremenom reakcije u dominantnoj ruci) u odnosu na ispitanike koji se bave grupnim sportom (razlika iznosi 0.09 s, s kraćim vremenom reakcije u dominantnoj ruci), što se također može uočiti u istraživanju Atan T i Akyol P gdje je utvrđeno kako nema razlike u vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke u sportašima koji se bave borilačkim sportovima. No, uz to rezultati ovog istraživanja pokazuju kako sportaši koji se bave grupnim sportom imaju lošije vrijeme reakcije od sportaša koji se bave individualnim sportom, iako se u navedenom istraživanju pokazalo suprotno (26).

Ukoliko se uzima u obzir omjer aktivnosti između ekstremiteta u određenom sportu, dobiveni rezultati pokazuju kako najkraće vrijeme reakcije u dominantnoj ruci imaju ispitanici koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost gornjih ekstremiteta, potom slijede ispitanici koji se bave sportom koji zahtijeva podjednaku reakciju gornjih i donjih ekstremiteta, a najduže prosječno vrijeme reakcije imaju ispitanici koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost donjih ekstremiteta. Pritom, razlika između najkraćeg i najdužeg vremena reakcije u navedenim kategorijama za dominantnu ruku jest 0.09 s. S druge strane, rezultati pokazuju kako je prosječno vrijeme reakcije u nedominantnoj ruci najkraće kod sportaša koji se bave sportom koji zahtijeva podjednaku aktivnost gornjih i donjih ekstremiteta, zatim slijede sportaši koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost gornjih ekstremiteta, a najduže vrijeme reakcije ponovo imaju ispitanici koji se bave sportom koji zahtijeva veću aktivnost donjih ekstremiteta. Pritom je razlika između najkraćeg i najdužeg prosječnog vremena reakcije u navedenim kategorijama za nedominantnu ruku 0.07 s. Uz to, rezultati pokazuju kako sportaši iz svih skupina imaju kraće vrijeme reakcije u dominantnoj ruci. Promatrajući razliku u vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke u grupama pojedinačno, može se uočiti kako je razlika u vremenu reakcije u grupi sportaša koji više koriste gornje ekstremitete jednaka 0.18 s, u grupi sportaša koji više koriste donje ekstremitete razlika je jednaka 0.10 s, dok je u grupi sportaša koji podjednako koriste i gornje i donje ekstremitete



razlika jednaka 0.05 s. Ovime se može zaključiti kako najveću razliku u vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke imaju sportaši koji pretežito koriste gornje ekstremitete, potom slijede sportaši koji pretežito koriste donje ekstremitete, a najmanju razliku u vremenu reakcije između dominantne i nedominantne ruke imaju sportaši koji podjednako koriste i gornje i donje ekstremitete. Također, istraživanje pokazuje kako ne postoje značajna odstupanja unutar niti jedne od skupina. U usporedbi s istraživanjem Atan T i Akyol P gdje se pokazalo kako nogometaši imaju najbolje vrijeme reakcije, u ovom istraživanju je prikazano kako sportaši koji pretežito koriste donje ekstremitete u sportu imaju lošije vrijeme reakcije u odnosu na ostale sportaše iz ovog istraživanja. Također, iz navedenog istraživanja uočava se kako je razlika u vremenu reakcije najmanja u sportaša koji se bave košarkom, rukometom i borilačkim vještinama, što se podudara s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju pošto navedeni sportovi koriste podjednaku aktivnost i gornjih i donjih ekstremiteta (26).

## 7. ZAKLJUČAK

Istraživanjem provedenom na studentima i studenticama Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci, utvrdilo se kako su prisutne razlike u vremenu reakcije između sportaša i nesportaša, kao i između studenata i studentica. Sportaši su pokazali kraće vrijeme reakcije i u dominantnoj i u nedominantnoj ruci u usporedbi s nesportašima, što ukazuje na to kako sportska aktivnost može pridonijeti poboljšanju brzine reakcije, čime se potvrđuje prva hipoteza istraživanja. To je poboljšanje rezultat bolje koordinacije i percepcije, bolje neuromuskularne funkcije i bržeg prijenosa impulsa između neurona, što se razvija kroz sport. Ova razlika posebno je izražena u dominantnoj ruci.

Također, ukoliko se u obzir uzima samo spol neovisno o bavljenju sportom, studenti su pokazali kraće vrijeme reakcije u odnosu na studentice, što sugerira da spol ima ulogu u postizanju boljeg rezultata vremena reakcije. Međutim, ukoliko se bavljenje sportom uzme u obzir zajedno sa spolom, rezultati se znatno razlikuju. Tada je prosječno vrijeme reakcije u dominantnoj ruci kraće i u sportaša i u nesportaša u usporedbi sa sportašicama i nesportašicama, dok se kod ispitivanja nedominantne ruke pokazalo kako sportaši i sportašice imaju jednako vrijeme reakcije te kako nesportašice ovoga puta imaju kraće vrijeme reakcije u usporedbi s nesportašima. Iako se pokazalo kako u jednom trenutku studentice ipak imaju kraće vrijeme reakcije od studenata, većina rezultata ide u korist studenata, a pošto hipoteza govori kako studentice imaju kraće vrijeme reakcije u usporedbi sa studentima, ovime se ista odbacuje. Rezultati dobiveni u ovom dijelu istraživanja sugeriraju na to da sportska aktivnost ima pozitivan utjecaj na brzinu reakcije, ali da su istovremeno prisutne razlike u brzini reakcije između spolova.

Uz to, dokazuje se kako redovita tjelesna aktivnost koristi ne samo tjelesnom zdravlju, nego i poboljšanju kognitivnih funkcija kao što su pamćenje, učenje i brzo donošenje odluka, što pojedincu može biti od velike pomoći ne samo u sportu, već i u svakodnevnom i profesionalnom životu, ali i u bilo kojim zadacima koji zahtijevaju brze i točne reakcije organizma. Provedeno istraživanje pruža uvid u utjecaj sporta i spola na vrijeme, odnosno brzinu reakcije. Promicanje sportske aktivnosti, ali i općenito tjelesne aktivnosti, može imati izrazito pozitivne učinke na pojedinca u aspektima njegovog tjelesnog i mentalnog zdravlja, kao i njegovih fizičkih i kognitivnih sposobnosti.

## 8. LITERATURA

1. Kosinski R. J. A Literature Review of Reaction Time. [Internet] South Carolina: Clemson University; 2013 [updated 2013 September]. Dostupno na: <http://www.cognition.org/cogs105/readings/clemson.rt.pdf>
2. Marieb E N, Smith L A. Human Anatomy & Physiology Laboratory Manual. 7th ed. San Francisco, California: Pearson; 2003. 232-233 p.
3. Guyton A C, Hall J E. Medicinska Fiziologija. 9. izd. Kukulja Taradi S, Andreis I, urednici. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. 489-637 str.
4. Jakovac H. Priručnik za vježbe iz fiziologije [Priručnik u formatu PDF]. Fiziologija s patofiziologijom, Fakultet zdravstvenih studija u Rijeci. 01.03.2022. [citirano 01.03.2022.]. Dostupno na: <https://moodle.srce.hr/2023-2024/auth/simplesaml/login.php?lang=hr>
5. Aydin S, Özkan Z. Investigation of reaction speed of the students who do sport and do not in the age group of 12-18 [Internet]. Department of Physical Education and Sports, Faculty of Education Hakkari University, Hakkari, Turkey, School of Physical Education and Sports, Yuzuncu Yil University, Van, Turkey: Journal of Pharmaceutical Negative Results. vol.13; Special Issue 6. 2022; pg 1-8. (pristupljeno: 09.04.2024.) Dostupno na: <https://web.archive.org/web/20221122061751/https://pnrjournal.com/index.php/home/article/download/2146/1843>
6. Jha RK, Thapa S, Kasti R, Nepal O. Influence of Body Mass Index, Handedness and Gender on Ruler Drop Method Reaction Time among Adults. J Nepal Health Res Counc. [Internet]. 2020 Apr 20; pg 108-111. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32335603/>
7. Demarin V, Trkanjec Z. Neurologija za stomatologe. Zagreb: Medicinska naklada; 2008. str. 1-5.
8. Lundy-Ekman L. Neuroscience: Fundamentals for Rehabilitation. 4th ed. [PDF] Saunders, Elsevier Inc: 2013; pg 24-383.
9. Tadinac M, Hromatko I. Uvod u biološke osnove doživljavanja i ponašanja. Izd. 3. Zagreb: Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, FF-press, Naklada Nediljko Dominović: 2012; str. 95-97.
10. Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje [Internet]. Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje; 2011. (pristupljeno 09.04.2024.) Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/sarkomera/14317/>
11. Frost R. Applied Kinesiology: A Training Manual and Reference Book of Basic Principles and Practices. [PDF] North Atlantic Books: Berkeley California: 2002; pg 6-32.
12. Watson M A, Black O, Crowson M. The Human Balance System – A Complex Coordination of Central and Peripheral Systems [PDF]. Vestibular Disorders Association: Portland, OR: 2016; pg 1-5.

13. Latash M L. Fundamentals of Motor Control [PDF]. 1st ed. Academic Press, Elsevier: 2012; pg 3-46.
14. Purves D, Augustine G. J, Fitzpatrick D, Hall W. C, LaMantia A. S, White L. E, Heffer M, Puljak L, Kostić S. Neuroznanost. Izd. 5. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. str. 353-700.
15. Rotim K i sur. Anatomija. Zagreb: Zdravstveno veleučilište Zagreb; 2017; str. 161-162.
16. Barker R A, Cicchetti F, Neal M J. Neuroanatomy and Neuroscience at a Glance [PDF]. 4th ed. Wiley-Blackwell. 2012. pg 76-108.
17. Lederman E. Neuromuscular Rehabilitation in Manual and Physical Therapies: Principles to Practice [PDF]. Churchill Livingstone, Elsevier. 2010; pg 137-138.
18. Shumway-Cook A, Woollacott M H. Motor Control: Translating Research Into Clinical Practice [PDF]. 5th ed. Wolters Kluwer. 2017; pg 49-50.
19. Edwards S J, Gallen D B, McCoy-Powlen J D, Suarez M A. Hand Grasps and Manipulation Skills: Clinical Perspective of Development and Function [PDF]. 2nd ed. SLACK Incorporated. 2018; pg 47-77.
20. Mardešić D. i sur. Pedijatrija [PDF]. Izd. 8. Školska knjiga: Zagreb, 2013; str. 11-32
21. Rodriguez-Beato F Y, De Jesus O. Physiology, Deep Tendon Reflexes [Updated 2023 Aug 28]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan (Pristupljeno: 28.05.2024.)  
Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562238/>
22. Brisswalter J, Arcelin R, Audiffren M, Delignières D. Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. Percept Mot Skills. 1997; pg 1019-1027. (pristupljeno: 28.05.2024.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9399313/>
23. Roach A, Lash D, Loomis E, Sinnen T, DeYoung M. The Effects of Exercise on Reaction Time [Internet]. Journal of Advanced Student Science. School of Education, UW-Madison. 2014. (pristupljeno: 28.05.2024.) Dostupno na: <http://digital.library.wisc.edu/1793/80032>
24. Vaillancourt D E, Christou E A. Slowed Reaction Time During Exercise, What Is the Mechanism? Exercise and Sport Sciences Reviews [Internet]. April 2013; pg 75-76 (pristupljeno: 28.05.2024.) Dostupno na: [https://journals.lww.com/acsm-essr/fulltext/2013/04000/slowed\\_reaction\\_time\\_during\\_exercise\\_what\\_is\\_the.2.aspx#](https://journals.lww.com/acsm-essr/fulltext/2013/04000/slowed_reaction_time_during_exercise_what_is_the.2.aspx#)
25. Malhotra V, Goel N, Tripathi Y, Ushadhar U, Garg R. Exercise and Reaction Times [Internet]. Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences. Vol 4, March 26th 2015. pg 4277-4281. (pristupljeno: 28.05.2024.) Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/282466334\\_EXERCISE\\_AND\\_REACTION\\_TIMES](https://www.researchgate.net/publication/282466334_EXERCISE_AND_REACTION_TIMES)

26. Atan T, Akyol P. Reaction Times of Different Branch Athletes and Correlation between Reaction Time Parameters [Internet]. ScienceDirect, Elsevier. Vol 116, 21 February 2014. pg 2886-2889. (pristupljeno 28.05.2024.)

Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814006910>

27. Vuk S. Brzina reakcije na vizualni i zvučni signal u taekwondou. CRORIS Informacijski sustav znanosti RH [Internet]. Zbornik radova 8. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša 2010 – Trening brzine, agilnosti i eksplozivnosti. Jukić I, Gregov C, Šalaj S, Milanović L, Trošt-Bobić T, urednici. 2010. str. 184-188: <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/558875>

28. Betlehem R. Razlike u izvršnim funkcijama između sportaša i nespportaša [Internet]. Filozofski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2018. (pristupljeno: 28.05.2024.) Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:142:077662>

29. Kraemer W, Denegar C, Flanagan S. Recovery from injury in sport: considerations in the transition from medical care to performance care [Internet]. Sports Health. 2009 Sep;1(5):392-5. (pristupljeno: 28.05.2024.)

Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3445177/>

30. Wood, R. J. Complete Guide to Fitness Testing [Internet]. Mount Hawthorn: Topend Sports Website; 2008 Jan. Dostupno na: <https://www.topendsports.com/testing/>.

31. Mackenzie, B. Ruler Drop Test [Internet]. United Kingdom: BrianMac Sports Coach; 2004. Dostupno na: <https://www.brianmac.co.uk/rulerdrop.htm>

## 9. PRIVITCI

### Privitak A: Popis ilustracija

#### Popis slika:

**Slika 1:** Prikaz difuzijskog potencijala

**Slika 2:** Prikaz građe skeletnog mišića

**Slika 3:** Prikaz relaksirane i kontrahirane miofibrile

**Slika 4:** Prikaz molekule miozina

**Slika 5:** Prikaz miozinske niti i spoja miozinske niti s aktinskom niti

**Slika 6:** Prikaz aktinske niti

**Slika 7:** Omjer sportaša i nesportaša

**Slika 8:** Omjer ispitanika između spolova

**Slika 9:** Omjer ispitanika prema tipu sporta

**Slika 10:** Omjer ispitanika prema korištenju ekstremiteta u sportu

**Slika 11:** Omjer ispitanika koji su pretrpjeli ozljedu lokomotornog sustava (bolesni) i koji nisu pretrpjeli ozljedu lokomotornog sustava (zdravi)

**Slika 12:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije dominantne ruke sportaša

**Slika 13:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke sportaša

**Slika 14:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije dominantne ruke nesportaša

**Slika 15:** Grafički prikaz prosječnog vremena reakcije nedominantne ruke nesportaša

**Slika 16:** Grafički prikaz vremena reakcije u dominantnoj ruci kod studenata

**Slika 17:** Grafički prikaz vremena reakcije u nedominantnoj ruci kod studenata

**Slika 18:** Grafički prikaz vremena reakcije u dominantnoj ruci kod studentica

**Slika 19:** Grafički prikaz vremena reakcije u nedominantnoj ruci kod studentica

**Slika 20:** Prikaz konačnih rezultata istraživanja stupčastim dijagramom

#### Popis tablica:

**Tablica 1:** Grupiranje aksona

**Tablica 2:** Prikaz rezultata istraživanja za nesportaše i sportaše

**Tablica 3:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci sportaša s obzirom na tip sporta, uz pripadajuće standardne devijacije

**Tablica 4:** Prikaz prosječnog vremena reakcije sportaša u dominantnoj i nedominantnoj ruci s obzirom na aktivnost ekstremiteta, uz standardnu devijaciju

**Tablica 5:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u zdravih i bolesnih ispitanika uz pripadajuće standardne devijacije

**Tablica 6:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u studenata, uz standardnu devijaciju

**Tablica 7:** Prikaz prosječnog vremena reakcije u studentica, uz standardnu devijaciju

**Tablica 8:** Prikaz prosječnog vremena reakcije studenata i studentica uz standardnu devijaciju

## **PRIVITAK B: Informirani pristanak**

### INFORMIRANI PRISTANAK

Poštovani/poštovana,

pozivamo Vas da sudjelujete u istraživanju u kojem se ispituje brzina reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci. Istraživanje se provodi u svrhu izrade završnog rada studentice Antonije Kotlar studija fizioterapije na temu „Analiza brzine reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci“.

Cilj rada je ispitati vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studenata koji se bave sportom i studenata koji se ne bave sportom te ispitati razlikuje li se vrijeme reakcije u dominantnoj i nedominantnoj ruci kod studentica i kod studenata. Istraživanje je anonimno, a Vaše sudjelovanje dobrovoljno i možete se slobodno i bez ikakvih posljedica povući u bilo koje vrijeme, bez navođenja razloga. Rezultati ankete koristit će se u svrhu izrade završnog rada.

Potvrđujem da sam dana ..... pročitao/pročitala obavijest za gore navedeno istraživanje, te sam imao/imala priliku postavljati pitanja. Znam da je moje sudjelovanje dobrovoljno te da se mogu povući u bilo koje vrijeme, bez navođenja razloga i bez ikakvih posljedica. Obzirom da je cilj istraživanja isključivo u svrhu izrade završnog rada, bez štetnih učinaka i upotrebe podataka u neke druge svrhe, spreman/spremna sam sudjelovati u navedenom istraživanju.

Navedeno potvrđujem vlastoručnim potpisom \_\_\_\_\_

## **PRIVITAK C: Demografski upitnik**

### DEMOGRAFSKI UPITNIK

Cilj ovog upitnika je prikupiti potrebne podatke o ispitanicima u svrhu izrade završnog rada. Ispitanici su dužni iskreno i savjesno odgovoriti na sva navedena pitanja. Na kraju upitnika, ispitanik potpisuje suglasnost o sudjelovanju u istraživanju te od istog može odustati u bilo kojem trenutku i iz bilo kojeg razloga. Upitnik je u potpunosti anoniman.

1. Spol (zaokružiti): M    Ž
2. Dob (upisati): \_\_\_\_\_
3. Koja Vam je ruka dominantna? (zaokružiti)  
Lijeva    Desna
4. Bavite li se sportom? (zaokružiti)  
DA    NE

**U slučaju da ste odgovorili s NE, prijedite na pitanje 9.**

5. Jeste li aktivni sportaš? (zaokružiti)  
DA    NE
6. Kojom vrstom sporta se bavite? (zaokružiti)
  - a. Sport koji zahtijeva veću aktivnost gornjih ekstremiteta.
  - b. Sport koji zahtijeva veću aktivnost donjih ekstremiteta.
  - c. Sport koji zahtijeva podjednaku aktivnost i gornjih i donjih ekstremiteta.
7. Bavite li se individualnim ili grupnim sportom? (zaokružiti)
  - a. Individualni sport
  - b. Grupni sport
8. Koliko često provodite bilo kakvu vrstu tjelesne aktivnosti (ne uključujući hod od adrese prebivališta do adrese ustanove studiranja)? (zaokružiti)
  - a. Svaki dan
  - b. Povremeno (dva do tri puta tjedno)
  - c. Gotovo nikad (dva do tri puta mjesečno ili manje)
  - d. Nikad
9. Imate li, ili ste u proteklih godinu dana imali ozljedu ili određeno patološko stanje koje Vam je onemogućavalo ili ograničavalo obavljanje fizičke aktivnosti? (zaokružiti)



DA NE

10. Ukoliko ste na prethodno pitanje odgovorili s "DA", zaokružite na skali od 1 do 10 koliko Vam trenutno to stanje onemogućuje ili ograničava tjelesnu aktivnost (1 – uopće mi ne ograničava/onemogućuje bavljenje tjelesnom aktivnošću; 10 – jako mi ograničava/onemogućuje bavljenje tjelesnom aktivnošću).

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Suglasnost o sudjelovanju u istraživanju:

Suglasan/na sam da ću sudjelovati u testiranju u svrhu provođenja istraživanja za završni rad.

Potpis ispitanika:

---

## **10. ŽIVOTOPIS**

Ime mi je Antonia Kotlar. Rođena sam 18. 11. 2001. godine u Karlovcu. Obrazovanje započinjem upisom u Osnovnu školu Dubovac u Karlovcu 2008. godine. Po završetku osnovne škole 2016. godine, upisujem Ekonomsko turističku školu u Karlovcu, smjer ekonomist, gdje završavam prvi razred srednje škole. Međutim, tijekom obrazovanja shvaćam kako moj put leži u drugom pravcu. Tada odlučujem upisati 2. razred Medicinske škole Karlovac, smjer fizioterapeutski tehničar, gdje se nastavlja moje srednjoškolsko obrazovanje do 2020. godine. 2021. godine nastavljam sa svojim obrazovanjem te upisujem preddiplomski stručni studij na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci, smjer fizioterapija. Tijekom studija volontirala sam na 50. obljetnici Sveučilišta u Rijeci. Iduća stepenica u mom obrazovanju jest upis diplomskog sveučilišnog studija fizioterapije, kao i daljnje usavršavanje u području struke.