



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Dalibor Frančeski

**MORFOLOŠKO VREDNOVANJE  
PROMJENA PLOČE RASTA  
PROKSIMALNOG DIJELA HUMERUSA U  
MLADIH ASIMPTOMATSKIH  
ODBOJKAŠICA METODOM MAGNETSKE  
REZONANCIJE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2026.

# SAŽETAK

Uvod: Poremećaji koji se razvijaju u ramenu sportaša uključenih u bacačke i sportove s pokretima iznad glave nisu samo akutne ozljede, već često odraz kumulativnih mikrostresova na ploču rasta, koja je anatomske najosjetljivija struktura rastuće kosti. Adolescentni sportaši, osobito oni u fazi ubrzanog rasta (peak height velocity, PHV), pokazuju povećanu biomehaničku ranjivost regije ploče rasta zbog njezine histološke slabosti i dinamičnih hormonalnih promjena u pubertetu. Odbojka, kao sport koji uključuje velik broj ponavljajućih visokoenergetskih pokreta iznad glave (smeč, servis), posebno opterećuje proksimalni humerus, koji je u ovoj dobnoj skupini još uvijek skeletno nezreo.

Cilj i hipoteze: Cilj ovoga istraživanja bio je metodom magnetske rezonancije (MRI) morfološki istražiti i usporediti regiju ploče rasta proksimalnog dijela humerusa u mladim asimptomatskim odbojkašima. U ovom istraživanju postavljene su dvije hipoteze: (1) ponavljani pokreti s visokim opterećenjima u odbojci utječu na zonu rasta u mladim sportašima; (2) u sportašima uključenih u overhead sportove morfološke karakteristike zone rasta proksimalnog humerusa dominantnog ekstremiteta razlikuju se od nedominantne strane. Zbog opservacijskog dizajna obje se provjeravaju na razini statističke povezanosti.

Metodologija: Uzorak je uključivao 32 aktivne odbojkašice (dob 13–16 godina; prosječna dob  $14,34 \pm 0,97$  godina) regrutirane iz Odbojkaškog kluba Mladost Zagreb, sve asimptomatske i bez dokumentirane ozljede ramena u posljednjih 6 mjeseci. MRI snimanja provedena su na početku (M1;  $n = 32$ ) i na kraju natjecateljske sezone (M2;  $n = 20$ ; 37,5 % manje) na uređajima Philips Ingenia i Siemens Magnetom Vida, dok je usporedba s kontrolnom skupinom ( $n = 13$ ; prosječna dob  $15,15 \pm 1,34$  godina) provedena na kraju sezone. Mjerene su kontinuirane varijable (dužina ploče rasta / dužina epifizne ploče (EP) i kraniokaudalno protezanje u četiri smjera) te ordinalne varijable (edem koštane srži, difuzijske promjene, fuzija ploče rasta). Statistička analiza uključivala je t-test za zavisne i nezavisne uzorke, Wilcoxonov test predznačenih rangova, Mann–Whitneyjev U-test, Fisherov egzaktni test te Cohenov d ( $p < 0,05$ ).

Rezultati: Na početku sezone razlike u dužini ploče rasta između skupina nije bilo ( $p = 0,746$ ), dok je razlika u kraniokaudalnoj visini epifize medijalno bila prisutna već tada ( $p <$

0,001). Prilagodba za kronološku dob razlike među skupinama na kraju sezone nije umanjila, nego ih je neznatno povećala, budući da je kontrolna skupina bila prosječno starija. U usporedbi dominantne i nedominantne ruke na početku sezone (M1; n = 32) nekorigitiranu razinu značajnosti dosegla je jedino varijabla kraniokaudala visina epifize anteriorno (dominantna  $30,48 \pm 2,54$  mm naspram nedominantna  $29,54 \pm 2,45$  mm;  $p = 0,045$ ;  $d = 0,37$ ; nakon Bonferronijeve korekcije  $p = 0,223$ ), dok razlike u edemu ( $43,8$  % naspram  $31,3$  %;  $p = 0,157$ ) i difuzijskim promjenama ( $34,4$  % naspram  $37,5$  %;  $p = 1,000$ ) nisu bile značajne. Longitudinalnom analizom (n = 20) zabilježeno je statistički značajno povećanje dužine ploče rasta dominantne ruke ( $\Delta\bar{X} = +2,65$  mm;  $p < 0,001$ ;  $d = 1,20$ ) te značajna promjena distribucije edema, pri čemu se udio izraženog edema (stupanj 2) smanjio s  $35,0$  % na  $10,0$  % ( $p = 0,010$ ). U odnosu na kontrolnu skupinu (n = 20 naspram n = 13) odbojkašice su na kraju sezone imale veće izmjerene vrijednosti dviju mjera koje ostaju značajne i nakon Bonferronijeve korekcije. Dužina EP ( $p = 0,003$ ;  $d = 1,14$ ), koja se odnosi na ploču rasta i EP KK medijalno ( $p < 0,001$ ), koja opisuje kraniokaudalnu visinu epifize, dok je EP KK anteriorno (nekorigitirano  $p = 0,012$ ; korigirano  $p = 0,061$ ;  $d = 0,95$ ) predstavljala trend, bez statističke značajnosti. Difuzijske promjene bile su prisutne u gotovo svih ispitanica u objema skupinama te stoga nisu bile diskriminativne.

**Zaključak:** Rezultati upućuju na povezanost ponavljanih opterećenja kod pokreta iznad glave s mjerljivim morfološkim promjenama ploče rasta proksimalnog humerusa adolescentnih sportašica. MRI je detektirala subkliničke morfološke promjene u ispitanica bez simptoma, što upućuje na njezin potencijal kao metode ranog prepoznavanja promjena zone rasta uzrokovanih preopterećenjem. Valja pritom naglasiti da je metodološki najčišći test mehanizma — usporedba dominantne i nedominantne ruke, kontrolirana za dob, tjelesnu veličinu i mjerni uređaj — dao pretežno negativan rezultat, dok najjače razlike proizlaze iz usporedbe koja je najviše opterećena konfundiranjem. Prema dostupnoj literaturi, nisu pronađena ranija sustavna longitudinalna MRI istraživanja ploče rasta proksimalnog humerusa u mladim odbojkašica.

**Ključne riječi:** ploča rasta, proksimalni humerus, MRI, odbojka, ozljede uslijed prenaprezanja, adolescentne sportašice