

GRADU AMAIERAKO LANA

WAHOO KICKR ARRABOLAREN BALIDAPEN ETA FIDAGARRITASUNAREN EBALUAKETA SRM-AREKIN KONPARATUZ



Egilea: Irati Otxoteko Arlegi

Zuzendaria: Gaizka Mejuto Hidalgo

JARDUERA FISIKOAREN ETA KIROLAREN ZIENTZIETAKO GRADUA

2015/1016 ikasturtea

Ohiko deialdia

AURKIBIDEA

1. Sarrera.....	3-5. orr.
2. Marko teorikoa.....	6-22. orr.
2.1. Potentziometroak txirrindularitzan duen garrantzia.....	6-9. orr.
2.2. Potentziometro eramangarri mota ezberdinak.....	9-18. orr.
2.2.1. SRM.....	9-11. orr.
2.2.2. PowerTap.....	12-13. orr.
2.2.3. Polar Electro.....	13-14. orr.
2.2.4. Ergomo.....	14-15. orr.
2.2.5. Quarq.....	16. orr.
2.2.6. iBike.....	16-18. orr.
2.2.7. Garmin.....	18. orr.
2.3. Datuak transmititzeko gaur egungo sistemak.....	10-20. orr.
2.3.1. ANT+.....	19. orr.
2.3.2. Bluetooth.....	19-20. orr.
2.4. Wahoo KICKR arrabolaren ezaugarriak.....	20-22. orr.
3. Helburua.....	23. orr.
4. Metodoa.....	24-25. orr.
5. Emaitzak.....	26-28. orr.
6. Eztabaida.....	29-32. orr.
7. Ondorioak.....	33. orr.
8. Ikerketaren mugak.....	34. orr.
9. Etorkizunerako ikerketa ildoak.....	35. orr.
10. Bibliografia.....	36-38. orr.
11. Eranskinak.....	39-47. orr.

1. SARRERA

Gratu amaierako lan honetan, txirrindularitzako Wahoo KICKR arrabolaren (Wahoo Fitness, Atlanta, GA) fidagarritasuna eta baliogarritasuna aztertzen da potentziometro gisa. Izan ere, gaur eguneko txirrindularitzan potentziometroa garrantzi handia daukan gailua da, txirrindulariek honek emandako datuen arabera entrenatzen baitute.

Entrenamendu horietako intentsitate zonak ezartzeko, txirrindulariek errendimendua baloratzeko testak burutzen dituzte zikloergometroan. Normalean, test horiek laborategietan egiten dira, bertan parametro fisiologiko ezberdinak ebaluatu baitaitezke, kirolarien errendimenduari buruzko datu osatuak lortuz. Txirrindularitzaren kasuan, test hauek laborategikoak direnean zikloergometro estatikoetan burutzen dira protokolo ezberdinak erabiliz (Hopkins & McKenzie, 1994), baina normalean zikloergometro hauek ez dira errepidea simulatzeko gai eta bertan lortutako datuak ezin dira zuzenean bertara transferitu.

Hontaz gain, zikloergometro estatikoek beste hainbat desabantaila dituzte: ezin dira leku batetik bestera mugitu, txirrindulariek ezin dituztenez norberaren bizikletarekin testak burutu egokitze arazoak sortzen dira... eta guzti honek kirolarien benetazko errendimendu maximoa lortzeko zailtasunak dakartza.

Horregatik, errendimendu balorazioko test horiek burutzeko oso aukera interesgarria dirudi Wahoo KICKR arrabolak. Izan ere, arrabola hau eramangarria da, bere software potenteari esker errepideko egoerak simulatzeko gai da eta norberaren bizikletan pedaleatzea baimentzen du, aurretik aipaturiko arazoak ekidinez.

Merkatuan pixkanaka gero eta ezagunagoa bihurtzen ari da, UCI ProTour mailako (txirrindularitzako lehen maila) Sky talde ingelesak erabiltzen baitu lasterketa zein erlojupekoen aurretik eta ondoren txirrindularien giharrak berotu eta lasaitasunera itzuli daitezen. Hori dela eta, oraindik garrantzitsuagoa iruditzen zaigu Wahoo KICKR arrabola honen balidapena egitea.

Bibliografian ikusi dugunaren arabera, urte honen hasieran (otsailean) arrabola hau balidatu zuen artikulua zientifiko bat argitaratu zen (Zadow, Kitic, Wu, Smith & Fell, 2016). Hala ere, artikulua honetan arrabolaren balidapena kalibrazio dinamikoko tresna bat (CALRIG) erabiliz egin zen eta ez txirrindulariekin, hauek izanik benetan Wahoo KICKR arrabola balidatzeko subjekturik egokienak, beraiek baitira benetan tresna hau erabiliko dutenak. Baina, arrabola baten balidazioa ingenieritzako tresna batekin edo txirrindulariekin egitea ez denez berdina, hutsune hori bete nahi izan dugu, arrabola benetako subjektuekin erabilia baliagarria den ikusiz.

Horretarako, Wahoo KICKR arrabola potentziometroetan Gold Standard-a den SRM potentziometroarekin (Jülich, Alemania) konparatu dugu, *Euskadi Txirrindularitza Iraskundeko* goi mailako lau txirrindulari subjektu gisa erabiliz. Txirrindulari hauek bi test ezberdin burutu zituzten egun ezberdinetan, test-retest efektua bilatuz:

1. Test inkrementala: esfortzu maximoraino egin beharreko testa, 1.5 W/kg-tan hasi eta 3 minuturo 50W igotzen dituen protokoloa jarraituz (Tanner & Gore, 2012).
2. Functional Threshold Power (FTP) testa (Hunter & Coggan, 2010): txirrindulariek 20 minutuz ahalik eta potentzia maximo konstanteenean pedaleatu behar dute.

Behin datu guztiak eskura izanda, hauen analisi estatistikoa burutzeko Bland eta Altman eta ehuneko errore metodoak erabili ziren, GraphPad Prism programaren 6.0e bertsioaren (La Jolla, CA, USA) bitartez aztertuak. Ondorioak ateratzeko, emaitza hauek indibidualki aztertzeaz gain, Zadow et al.-ekin (2016) alderatu ziren, interpretazioa aberatsagoa izateko.

Ondorengo lerroetan, aipaturiko ikerketaren prozesu guztia zehatzago azaltzen da. Hasieran, marko teoriko gisa, potentziometroak zer diren eta hauek txirrindularien errendimendua monitorizatzeko nola erabiltzen diren aipatu eta potentziometro mota ezberdinak aztertuko dira, hauek gaur egun erabiltzen duten

teknologia ezagutarazi eta Wahoo KICKR arrabolaren azterketarekin bukatuz. Jarraian aldiz, egindako ikerketaren helburuak, metodologia, emaitzak eta eztabaida auztartzen dira, lan guztiaren bukaeran ikerketaren ondorioak aipatuz. Eranskinetan aldiz, egindako ikerketaren ingelesezko bertsioa biltzen da, ondorengo kongresuan aurkezteko helburuarekin: *icSPORTS 2016: 4th International Congress on Sports Sciences Research an Technology Support*.

2. MARKO TEORIKOA

2.1. Potenziometroak txirrindularitzan duen garrantzia (Hunter & Coggan, 2010)

Txirrindularitza bezalako erresistentzia kirol batean, arrakasta lortzeko oso garrantzitsua da entrenamenduen iraupena, intentsitatea eta bolumena neurtzea. Horretarako, entrenamendua monitorizatu behar da eta hau egiteko hainbat tresna daude, hala nola: pultsometroak, ziklometroak eta potentziometroak.

Lehen biak orain dela urte batzuk asko erabiltzen ziren, batez ere pultsometroa, txirrindulariaren egoera fisikoaren datuak ematen dituelako. Hala ere, azken urte hauetan potentziometroek garrantzia irabazi dute, hauekin jaso daitezkeen datuak gainerakoenak baino osoagoak eta fidagarriagoak direla ikusi baita. Hori baieztatzeko, ondorengo lerroetan potentziometroari buruzko informazio osatuagoa emango da, pultsometro eta ziklometroarekin konparatuz.

Potentziometroari buruz hitz egiterakoan garbi izan behar dugun lehen gauza da potentzia zer den: denbora unitate bakoitzeko sorturiko energia kantitatea. Definizio hori txirrindularitzara aplikatuz, horrelako zerbait izango litzateke: segunduro pedaletan transmititzen den energia kantitatea. Energia kantitate hori gorputzak sortzen duen energia guztiaren %20-%25a bakarrik izanik, giharrek sortzen duten energiaren %75-%80a bero gisa galtzen baita.

Potentzia hori neurtzeko, orain dela 20 urte inguru txirrindulariak laborategira joan behar izaten ziren, zikloergometroak bakarrik baitziren gai parametro hau neurtzeko, marruskadura mekanikoaren, erresistentzia elektrikoaren, aire erresistentziaren edo fluido hidraulikoen erresistentziaren bitartez. Gaur egun aldiz, potentziometroak errepide, pista, MTB zein BMX-eko bizikletetan ezarri daitezke, txirrindulariek beraien errendimendu datuak zuzenean eskura izanik.

Potentziometroa, helburu berriak eta bere errendimenduan hobekuntza lortu nahi duten txirrindularientzat inoiz garaturiko erremintarik hoberena da seguruenik. Tresna honen bitartez, bihotz maiztasuna neurtzen duten pultsometroen edo ziklometro sinpleen bitartez ezagutu ezin daitezkeen parametroak ezagutu ditzakegu, txirrindularien errendimenduan ezkutuan dauden eremu ahulak azaleratuz.

Potentziometroak, txirrindulariaren egoera fisikoko aldaketak kuantitatiboki grabatzen ditu, entrenamendua segunduz segundu monitorizatuz. Horrela, txirrindularien ahuleziak definitzearekin batera, entrenamenduak ahulezi horiek hobetzera orientatzeko aukera ematen du.

Tresna honek, esfortzua ikuspuntu kardiobaskularretik (bihotz maiztasuna), zein muskularretik (batioak) neurtzen du. Bihotz maiztasuna, gorputzak txirrindulariak pedaletan egiten duen presioari ematen dion erantzuna izanik eta batioak, bizikleta aurrera mugitzea baimentzen duen indarra.

Orain dela urte batzuk, txirrindulari gehienek abiadura monitorizatzen duten ordenagailu txikiak (ziklometroak) erabiltzen zituzten, entrenamenduak monitorizatzeko, abiadura intentsitatearen indikatzaile gisa erabiliz; nahiz eta hau ariketaren intentsitatearen indikatzaile egokia ez izan. Hau oso garbi geratzen da abiadura neurketak potentzia neurketekin konparatzerakoan, normalean ez baita erlazio zuzenik egoten abiadura eta potentziaren artean. Hau ez da arritzekoa txirrindulariek potentzia altuenak aldapak igotzean edo bihurgune baten ondoren azeleratzerakoan sortzen dituztela kontuan harturik. Egoera hauetan sorturiko potentzia oso altua da, baina abiadura baxua. Aldiz, kontrakoa gertatzen da aldapa beheara joaterakoan, non sorturiko potentzia oso txikia den baina abiadura oso altua.

Pultsometroarekin jarraituz, aurretik esan bezala honek txirrindulariaren egoera fisiko zein errendimenduari buruzko informazio osatuagoa ematen digu, baina dirudienez hau ere ez da oso fidagarria. Aipatu bezala, potentzia ariketaren intentsitatearen erreflexu zuzena da, bihotz maiztasunak potentzia aldaketei erantzuten dien bitartean. Hala ere, potentzia oso azkar alda daiteke eta honen kurbak aldaketa handiak erakutsi ditzake. Bihotz maiztasuna beste aldetik nahiko

egonkorra da, bihotzak denbora bat behar duelako aldaketetara egokitzeko (potentzia igo edo gutxitzean).

Pultsometroaren bitartez bihotz maiztasuna bakarrik neurtuz, ezin da txirrindularia zenbat hobetzen ari den jakin, datu honek bihotza zenbaterainoko abiadurarekin ponpatzen ari den bakarrik adierazten baitu, eta hau errendimendutik at dauden faktoreek aldatu baitezakete. Horregatik, pultsometroa bakarrik erabiltzeak txirrindulariaren errendimenduari buruzko ondorio okerrak ateratzera eraman gaitzake. Esan bezala, bihotzaren ponpatzeko abiadura hidratazio mailaren, giro tenperaturaren, gorputzeko tenperaturaren, loaren, estresaren eta beste hainbat faktoreren arabera aldatzen baita.

Hala ere, parametro hau erreminta erabilgarria izan daiteke (urte askotan zehar erabili izan da eta oraindik ere erabiltzen da), baina puzlearen zati txiki bat besterik ez da; horregatik, hau potentziometroaren neurketarekin elkartzen badugu, datu oso erabilgarriak lor ditzakegu.

Izan ere, bihotz maiztasuna auto bateko erreboluzio kontagailua bezalako da, gero eta gehiago azeleratu, orduan eta erreboluzio (rpm) altuagoak. Potentziometroarekin neurtutako potentzia aldiz, autoak dituen zaldiekin aldera dezakegu; abiadura jakin batean joateko autoak erabiltzen duen potentzia. Txirrindularitzaren kasuan, txirrindulariak pedaletan eragiten duen bulkada izango litzateke; pedalak ze indarrarekin bultzatzen dituen.

Potentziaren bitartez, bihotz maiztasunaren bitartez baino emaitza zehatz eta erabilgarriagoak lortzen dira, nahi den gaitasuna lantzeko txirrindularia zein potentzia tartean mugitu behar den jakiten delako, eta potentzia honi ez diolako inolako kanpo faktorek eragiten. Izan ere, haizerik ez dagoen egun batean atalasean lan egin nahi duen txirrindulari batek 45km/h-ko abiaduran joateko 180t/m-ko behar ditu, baina haize asko dagoen egun batean berriz, esfortzu gehiago egin behar duenez, pultso horretan joanez bakarrik 30km/h-ko abiadura lortzen du.

Potentziometroarekin aldiz hori ez da inoiz gertatzen, normalean 280W-tan txirringulariaren bihotz maiztasuna 165t/m-koa bada eta egun batean 170t/m-ko maiztasunarekin 280W mugitzen baditu, bihotz maiztasun hori kanpo faktoreengatik aldatuta dagoela ondoriozta dezakegu. Izan ere, entrenamendu horretan lortu nahi diren onurak lortzeko pultsoa dena delakoa izanda, 280W-etan egin behar da lan.

Honekin bat eta hasierako adibidearekin jarraituz, potentziometroak emandako datuekin entrenamenduarekin lorturiko onurak erraz ikusi daitezke. 1-2 asteren ondoren 280W 165t/m-ko pultsoarekin mugitu beharrean 158t/m-rekin mugitzen badugu, egokitzapen bat lortu dela esan daitekeelako.

2.2. Potentziometro eramangarri mota ezberdinak

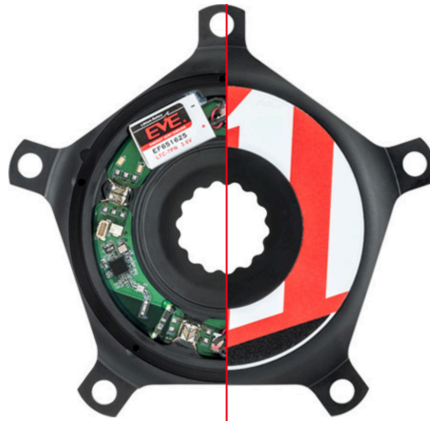
Gaur egun potentziometro asko daude merkatuan eta hauek, sei metodo ezberdinen arabera hartzen dituzte datuak: 1) bielan integraturiko sistema, 2) gupilaren bujean integraturiko sistema, 3) katearen euskarrian montaturiko sentsorea, 4) pedalen ardatzean ezarririko sentsorea, 5) aurkako indarren metodoa eta 6) pedaletan instalaturiko indar sentsorea.

2.2.1. SRM

Komertzializatu zen lehen potentziometroa eta txirringulartzaren erreboluzio teknologiko hau hasi zuena, SRM konpainia alemaniarra izan zen. Ulrich Schoberer ingeniari medikuak bere lehen prototipoa garatu zuen 1980an, biela zahar batzuk hartu eta hauen ardatzeko engranajeen zatia moztuta (eskuineko biela eta platerak doazen zatia). Gero, zati hori postreko plater txiki baten tamainako potentziometro batekin ordezkatu zuen, barruan tentsio neurgailu batzuk dituena.

Erabiltzaileek eskura izan zuten lehen modeloa berriz, 1987an merkaturatu zen eta pixkanaka enpresa hau bere modeloak hobetzen joan da, egun eskura dauden modeloak 9, 10 eta 11 abiaduratako garapenekin erabili daitezkeelarik, eta potentziometro honen instalazio zein erabilera guztientzat eskuragarri bihurtuz. Honekin bat, txirringulartzita modalitate ezberdinetan erabili daiteke, hala nola, errepidean, pistan, MTB, BMX eta erlojupekoetan.

Bizikletako bi platerak plater txiki honen gainean muntatzen dira, txirrindulariak pedalei eragiterakoan sortzen duen potentzia neurtu ahal izateko. Indar hau transmititzerakoan, plateren tortsio bat gertatzen da eta tentsio neurtzaileek dagoen tolestura maila neurtzen dute, normalarekin konparatuz. Jarraian, tortsioaren informazioa bizikletako ordenagailuko mikroprozesagailu batera bidali eta batioetan bihurtzen da.



1. Irudia: SRM potentziometroa kanpotik zein barrutik, tentsio neurgailuekin

Aipaturiko tentsio neurgailu horiek torkean oinarritutako neurketak egiten dituzte. Izan ere, SRM potentziometro bakoitzaren barruan platerak biekin konektatu eta neurketak egiten dituzten lau zubi daude, hauek tentsio neurgailuak dituztelarik. Horrela, txirrindulariak bieletan indarra eragiten duenean (torkea), zubiek aplikaturiko indar kopurua neurtzen dute bieletan gertatzen den tentsio aldaketa hautemanez. Jarraian, indar hori pedalkada bakoitzaren abiadurarekin (abiadura angeluarra) biderkatzen da potentzia lortzeko:

$$\text{Potentzia} = \text{Torkea} \times \text{Abiadura angeluarra}$$

Potentziometro batengandik espero den bezala, potentzia neurtzea ondo dago baina txirrindulariaren entrenamenduak zein errendimendua aztertu nahi baditugu, datu gehiago beharrezkoak dira. Horregatik, SRM potentziometroak 0-4200W bitarteko potentzia neurtzeaz gain, bihotz maiztasuna, altitudea (momentukoa eta entrenamenduko batz bestekoa), energia, abiadura (momentukoa, batz bestekoa eta maximoa) eta eginiko distantzia neurtzen ditu.

SRM Training System deituriko eta bielak eta platoak ekartzen dituen potentziometro hau, tresna hauen estandarra bihurtu da, gainerako potentziometroek hau erreferentziatzat hartuta neurtzen baitute potentzia. SRM-a potentziometro zaharrena izateaz gain, gehien garatu dena eta guztietatik fidagarri eta zehatzena da. Izan ere, potentzia bielen ardatzean neurtzea egokia eta logikoa da, datuek bi hankek egiten duten indarra biltzen baitute hau gertatzen den puntuan bertan. Potentziometroa bielarekin pieza bakarra osatuz eraikirik dagoenez, bizikletan integraturik dago, ekipamenduaren zati bihurtuz (Gardner, Stephens, Martin, Lawton, Lee & Jenkins, 2004).

Honekin bat, gaur eguneko SRM potentziometroak ANT+ teknologiarekin bateragarriak dira. Nahiz eta potentziometro bakoitzak bere eskulekuko ordenagailua edo PowerControl-a ekarri, sistema honek beste eskulekuko ordenagailuekin edo smartphone zein tabletetako aplikazioekin bateragarri bihurtzen du.

Behin entrenamenduak grabatu eta PowerControl eskulekuko ordenagailuan edukita, etxeko ordenagailuan analisisa egiteko software bikain baten bitartez datuak zehaztasunez irakurtzeko aukera dakar SRM-ak. Entrenamendu edo lehiaketa baten ondoren, PowerControla USB kable baten bitartez Windows edo Mac ordenagailu batera konektatu eta grafikozko artxibo bat deskargatzen da bertara, datuak aztertu ahal izateko. Azterketa horren bitartez txirrindulariak bere errendimeduaren egoera zein den eta zer hobetu behar duen ikusi dezake (Hunter & Coggan, 2010).



2. Irudia: SRM potentziometroa bere eskulekuko ordenagailuarekin (PowerControl)

2.2.2. POWERTAP

PowerTap-a atzeko gurpileko buje oso bat da, barruan potentziometro bat duena. Bujeak, “ardatz tubular” bat dauka SRM-ak erabiltzen dituen antzeko tentsio neurgailuekin. Neurgailu hauek buje barruko tortsioa neurtzen dute, txirrindulariak pedalei eragiten dien kargaren arabera tolesten direlarik. Bizikletako katea bujearen gainean doazen pinoien hortzetan engranatu eta hau mugitzean, honen barruan tolestura txikiak eragiten ditu. Azkenik, tortsio hau neurtu eta PowerTap eskulekuko ordenagailuan potentzia balioetan bihurtzen da.



3. Irudia: PowerTap potentziometroa gurpileko bujean

Potentziometro honek neurtzen duen potentzia, benetan errepidera iristen den potentzia da, platoetatik atera eta transmisio trenetik (bielak-katea-gurpila) igarotzen baita. Honek, PowerTap-ak SRM-ak neurtzen duen potentzia baino 5-10 batio gutxiago neurtzea eragiten du, Bertucci, Duc, Villerius, Pernin & Grappe, (2005)-en ikerketak erakusten duen bezala, bigarrenak indarra zuzenean bieletan (indarra eragiten den lekuan bertan) neurtzen duelako.

PowerTap-aren alde txarra beti gurpil berdina erabili behar dela da, hau bujean sarturik baitago. Horregatik, txirrindulariak lehiatzeko lehen mailako gurpilak erosten baditu, beste buje bat erosi beharko du gurpil horietan jarri eta potentzia neurgailuarekin lehiatu ahal izateko (Hunter & Coggan, 2010).



4. Irudia: gurpileko PowerTap bujea eta eskulekuko ordenagailua

2.2.3. POLAR ELECTRO

Polar sistemak katearen tentsioa neurtzen du honen euskarrian ezarritako sentsore baten bitartez, zeinek bibrazio frekuentzia neurtzen duen; gitarra baten soka balitz bezala, kateak azkarrago bibratzen du tentsioa handitzen den heinean. Frekuentzia hau indar kopuruaren handitzearekin erlazionatzen da, gero katearen abiadurarekin biderkatzen dena, atzeko aldagailuan muntaturiko sentsore magnetiko baten bitartez neurtua, sorturiko potentzia formula honen bitartez kalkulatzeko:

$$\text{Potentzia (W)} = \text{katearen tentsioa (N)} \times \text{Katearen abiadura (m/s)}$$

Nahiz eta errepideko Polar sistemak datu okerrak eman izan dituen, sistema honen zehaztasun eta iraunkortasuna SRM eta PowerTap-ekin konparaturiko hainbat test-etan frogatu da. Izan ere, zehaztasun falta hori askotan katearen euskarrian muntatzen den sentsorearen instalazio okerrarekin erlazionaturik dago, hainbat txirringailu hain instalatzeko zailtasunak izaten baitituzte. Horretaz gain, batzuetan ere garapenaren, potentziaren eta kadentziaren arteko konbinazioan seinale interferentziak eman daitezke. Hala ere, Millet, Tronche, Fuster, Bentley & Candau (2003)-k honen balidagarritasuna zientifikoki frogatu zuten.

Bestalde, sistema honen abantailetariko bat eskulekuan kokatzen den monitorea erloju bat izan daitekeela da, hau, eskumuturrean lotzen den pultsometro gisa erabili baitaiteke. Aldi berean, Polarrek bizikletarako bereziki prestatutako eskulekuko ordenagailuak ere baditu, GPS eta kadentzia nahiz abiadura sentsoreak

ezartzeko aukera ematen dutenak. Guzti honek, Polar unitatea erabilera anitzeko tresna bihurtzen du, eta oso aukera ona izan daiteke multikirola praktikatzen duten kirolarientzat. Izan ere, horrelako atleta batek igerilekuan pultsoa monitorizatzeko erabili dezake Polar erlojua, jarraian bizikleta gainean batioak neurtzeko eta korrika doanean berriro ere bihotz maiztasuna neurtzeko.



5. Irudia: katearen tentsioa neurtzen duen Polar Electro potentziometroa

2.2.4. ERGOMO

Ergomoa, Siegfried Gerlitzki-k hasiera batean edozein ardatzen tolestura neurtzeko asmatu zuen. Baina Gerlitzki txirrindularia zenez, potentziometro hau pedalen ardatzean kokatuz txirrindularitzan batioak erraz neurtu zitezkeela ikusi zuen.

Ergomoak potentzia aurretik ikusiriko potentziometroen modu ezberdinean neurtzen du, pedalen ardatzeko tortsio edo tolestura neurtzen baitu. Txirrindulariak pedalei eragiten dienean, pedalen ardatzean tolestura txiki bat gertatzen da, bustita dagoen toalla bat ura kentzeko bihurritzean gertatzen denaren antzekoa. Ergomoak ardatzen tolesturaren arteko distantzia neurtzea baimentzen duen sentsoare optiko bat dauka eta distantzia honetan oinarrituz, torkea eta txirrindularia aplikatzen ari den batioak kalkulatu ditu. Azkenik, pedalen ardatzetik ateratzen den kable txiki batek datuak eskulekuan kokaturik dagoen ordenagailura bidaltzen ditu.

Sistema honek txirrindulariak ISO, Octalink edo ISIS motako edozein ardatz erabiltzea baimentzen du. Hala ere, honek esan nahi du potentziometro hau ez dela bateragarria bi piezotako biela eta plateren jokuekin edo gaur egun estandarra den

BB30 ardatzekin. Horregatik, ergomoa daukan txirrindularia ardatz zaharrak erabiltzera beharturik dago eta batzuetan, hauek aurkitzea zaila gerta daskioke.

Tresna honen desabantaila handiena, ezker hankaren potentzia bakarrik neurtzen duela da. Izan ere, potentziometroa pedalen ardatzean sarturik egotean, birak ematen dituen edo tolesten den aldea bakarrik neurtzen du, kasu honetan ezker aldea; eskuineko aldea transmisio trenera loturik baitago. Eskulekuko ordenagailuak, ezkerreko hankak sortzen duen potentzia zehatza hartu eta batioak ateratzeko bikoiztu egiten du. Nahiz eta hasiera batean honek arazo bat suposatzen duela iruditu, erabiltzaile gehienentzat hau ez da inolako afera. Bi hanken arteko indarrean ezberdintasun nabaria duten txirrindulariek bakarrik izan baitezakete datuetan zehaztasun falta. Hala ere, Duc, Villerius, Bertucci & Grappe (2007)-ren ikerketaren arabera, Ergomo potentziometroa ez da SRM-a eta PowerTap-a bezain baliogarria, nahiz eta hau baieztatzeko ikerketa gehiagoren beharra dagoela nabarmentzen duten.

Txirrindulari guztiek ezberdintasun txiki bat daukate hanka bakoitzarekin sortzen duten potentzian, baina normalean hau %5a baino txikiagoa izaten da. Bizikleta gainean berriz, honek 10W-ko ezberdintasuna suposa dezake SRM edo PowerTap-arekin alderatuz. Hala ere, txirrindulari batek bi hanken artean ezberdintasun handia badauka, pertsona honen batioen irudi zehatza emateko ergomoa egokitu daiteke.



6. Irudia: Ergomo potentziometroa bere eskulekuko ordenagailuarekin

2.2.5. QUARQ

Quarq potentziometroak SRM-aren biletako antzeko teknologia erabiltzen du potentzia neurtzeko, honekin konparatuz zehatza eta baliogarria dela ikusiz (Stannard, Macdermaid, Mille & Fink, 2015). ANT+ teknologia dela eta, Quarq enpresak potentziometroak bakarrik garatzea erabaki zuen, eskulekuko ordenagailurik gabe; teknologia horrek marka ezberdinetako eskulekuko ordenagailuak potentziometro ezberdinekin bateragarri izatea baimentzen baitu. Bestalde, enpresa honek bere bielak produzitu beharrean, merkatuan dauden bielak egokitzen ditu beraien potentziometroekin bateragarri bihurtuz.

Quarq Technology enpresaren potentziometroa CinQo deitzen da eta *compact* edo plater normaletan erabili daiteke, erabiltzaile bakoitzari nahi duen garapena aukeratzeko askatasuna emanez. Honetaz gain, CinQo karbonozko biela gehienekin bateragarria da, hala nola Full Speed Ahead (FSA), SRAM eta Specialized markakoak; beste bielentzat ere modelo berriak sortzen jarraitzen duelarik.



7. Irudia: bielan atxikituriko Quarq potentziometroa

2.2.6. iBike

iBike azken urteetan merkaturatu den potentziometroetariko bat da, izan ere Velocomp konpainiak argitara eman zuen lehen aldiz eta arrakasta handiarekin 2006an. Bikain kalibraturiko altitude sentso bat, azelerometro bat eta txirrundulariaren mugimenduak eta inguruneke haizeak zein txirrundulariaren mugimenduak eragindako aurkako airearen presioa neurtzeko Pitot tubo bat daramatza barruan.

Potentziometro honen berrikuntza nagusia, eragindako indarrak neurtu beharrean (potentziometro guztiek egiten dutena), bere sentsoreek aurkako indarrak neurtzen dituztela da. Hau horrela izatearen arrazoiatariko bat, bere sentsoreak gurpilean, bielan edo katean bertan kokaturik egon beharrean, ordenagailuan daudela da, modu horretan iBike-a txikiagoa, arinagoa eta merkeagoa bihurtuz. iBike sentsoreek, aurkako indarrak prozesatzen dituen algoritmo sofistikatu batekin konbinatuz, iBike-aren ordenagailuari potentzia modu berritzaile batean neurtzea ahalbidetzen diote (Isvan, 2015). Izan ere, esan daiteke iBike-a indarraren neurketan zentratzen dela:

$$\text{Potentzia} = \text{Indarra} \times \text{Abiadura}$$

Laburki esanda, txirrindulariak bere aurrerako mugimendua oztopatzen duten indarrak gainditzeko (aldapak, haizearen erresistentzia, errepidearen heltze indarra...) bizikletako pedaletan indarra aplikatzen du. Zuzeneko indarretan oinarritzen diren gainerako potentziometroek txirrindulariak eginiko indarrak neurtzen dituzte, eta iBike-a aldiz, txirrindulariaren aurka egiten duten indarrak neurtzen dituen lehen potentziometroa da.

Newtonen hirugarren legean oinarrituz, aurkako indarrak aplikaturiko indarren berdinak dira eta potentziometro hau, fisikako lege horretan oinarritzen da sentsoreen bitartez aurkako indar horiek neurtu eta aurretik iBike ordenagailuan sarturiko erregistroekin konbinatuz (pisua, koefiziente aerodinamikoa...), txirrindulariaren potentzia zehazten duten aplikaturiko indarrak lortzeko.

Zaila da sinisten, matematikoki prozesaturiko aurkako indarren neurketa simple baten bitartez, bizikletako ordenagailu txiki batek zehatz esan dezakeela, txirrindularia pedalei zenbateko indarrarekin eragiten ari den. Baina gainerako potentziometroekin eginiko konparaketetan ikusi denez, iBike-ak zuzenean sorturiko indarra neurtzen duten potentziometroen datu berdinak ematen ditu.



8. Irudia: sentsoreak barnean dituen iBike eskulekuko ordenagailua

2.2.7. GARMIN

2011an Garmin enpresa estatu batarrak pedaletan eragindako indarrean oinarrituriko Vector potentziometroa merkaturatu zuen. Ofizialki hitz eginez, gailu hau “indarmetro” bat da eta ez potentziometro bat, izan ere, Vector-ek txirrindulariak pedaletan sorturiko indar bertikaletan oinarritzeaz gain, horizontaletan ere oinarrituz kalkulatzen ditu potentzia batioak. Indar horizontalen datu horrek, txirrindulariari indarra modu ezberdinetan eraginez bere potentzia nola aldatzen den ikustea baimentzen dio, bere pedalada teknika efizienteena ezagutaraziz.

Garmin-en potentziometro honek une berean txirrindulariak ezkerreko zein eskuineko pedaletan eragiten dituen indarrak neurtzen ditu. Pedalen ardatzean sarturiko sistema elektronikoari eta sentsore pertsonalizatuari esker, Vector-en indar neurketa eta potentziaren kalkulua zehatzak dira (Cavas, 2015). Honekin bat, potentziometro honen alde ona bizikleta batetik bestera arazorik gabe mugi daitekeela da, izan ere pedalak aldatzearekin nahikoa da, beti ere pedal hauek SpeedPlay markakoak badira.



9. Irudia: Garmin enpresaren pedaletako Vector potentziometroa

2.3. Datuak transmititzeko gaur egungo sistemak

Potentziometro eramangarrien ezaugarriak aztertzerakoan ikusi den bezala, gaur egun potentziometro gehienak datuak eskulekuko ordenagailura bidaltzeko kablerik gabeko sistemak erabiltzen dituzte. Sistema hauek igorlearen (potentziometroa) eta hartzailearen (eskulekuko ordenagailua) artean datuak bidaltzeko kablerik gabeko seinale bat bidaltzen dute, irrati-frekuentzia bat dena.

Kirolean erabiltzen diren kablerik gabeko transmisio sistema guztiak ez dira bateragarriak eta horrek erabiltzaileari buru hauste bat baino gehiago ekar dakiok. Hala ere, ondorengo lerroetan teknologia ikuspuntutik aukera asko ematen dituzte informazioa transmititzeko bi sistema aztertuko dira.

2.3.1. ANT+

Gaur eguneko potentziometro gehienek erabiltzen duten sistema da hau, bere filosofia produktu ezberdinak elkarren artean bateragarriak egitea da. Horregatik, sistema honen bitartez lan egiten duten produktuak beraien artean bateragarriak dira, nahiz eta marka edo enpresa ezberdinetakoak izan. Izan ere, ANT+-ek eskaintzen dituen ildoak jarraituz edozein enpresak dagoeneko merkatuan dauden produktuekin bateragarriak diren produktuak sortu ditzake.

Sistema honek ematen duen beste aukera bat hartzaile batek igorle bat baino gehiagoren datuak irakurtzea da, horrela eskulekuko ordenagailu zein smartphone edo smartwatch-ek (azken bi hauek aplikazioen bitartez) potentziometroaren, abiadura/kadentzia sentsoreen eta sentsore kardiakoen informazioa aldi berean irakurri dezakete (Ericsson, 2015).

2.3.2. Bluetooth

Teknologia honek igorle eta hartzaileen artean informazioa irrati frekuentzia bitartez bidaltzen du, kableen beharra ekidinez eta ANT+ sistemaren antzera, enpresa ezberdinetako produktuen arteko bateragarritasuna bilatuz.

Sistema honen abantailarik handiena, teknologia hau daramaten sentsoreak smartphonekin bateragarriak egiten dituela da. Gaur egun pertsona gehienek daukate smartphone bat eta sistema honi esker, potentziometro, kadentziometro zein pultsometroekin bateratu daiteke inongo beste erloju edo eskulekuko ordenagailu erosteko beharrik gabe (Gomez, Oller & Paradells, 2012).

2.4. Wahoo KICKR arrabolaren ezaugarriak

Wahoo KICKR arrabola, Wahoo Fitness enpresak merkaturatzen dituen bi arraboletatik potente eta osatuen da, SKY UCI ProTour txirrindulari talde britainiarrak erlojupekoen aurretik berotzeko eta lasterketen ondoren lasaitasunera itzultzeko erabiltzen duena. Arrabola hau potentzian oinarritzen da entrenamenduak monitorizatzerako orduan, baina modelo honen abantailetariko bat bizikleta bertara lotzeko atzeko gurpilaren beharrik ez daukala da, izan ere, arrabolak berak 10 abiaduratako SRAM/Shimano markako erresistentzia elektronikodun pinoi kasete bat dauka. Katea bertan ezarri eta gurpilaren funtzioa egiten dute pinoi hauek, horrela arrabola gehienek eragiten duten gurpilaren higadura ekidinez.



11. Irudia: SKY UCI ProTour taldeko txirrindulariak Wahoo KICKR arrabolan berotzen

Arrabola hau inertzia gurpil pisutsu batean oinarritzen da (inertzia bolantea), pedalak eman eta pinoiekin batera mugituz errepideko egoera ezberdinak simulatzen dituen (aldapak, eremu laua...). Horrela, txirrindulariak pedalei eragiten dienean sortzen duen potentzia kontrola dezake.

Erresistentzia ezartzen duen inertzia bolante profesionala, errepideko sentsazioak bikain simulatzeko prestaturik dago eta erabiltzaileak nahi izan ezker, aplikazioaren bitartez bere potentia unbralaren arabera entrenamendu sesio efizienteena aukera dezake bere gaitasunei ahalik eta probetxu handiena ateraz, errepideko sentsazioak sentitzen dituen bitartean. Bestalde, entrenamendu guztia antzeko potentzian burutu nahi badu, smartphonaren bitartez nahi den potentzia maila aukeratu eta Wahoo KICKR arrabolak erresistentzia automatikoki egokituko du, entrenamendu osoan zehar potentzia konstante mantendu dadin.



12. Irudia: Wahoo KICKR arrabola

Izan ere, arrabolak ezarritako erresistentzia eta txirrindulariak sorturiko batioak kontrolatzeko bere ordenagailu propioa ekarri beharrean, lehen aipaturiko ANT+ eta Bluetooth transmisio sistemen bitartez gaur egun pertsona gehienek daukaten smartphone, tablet edo ordenagailura konektatu eta hauen bitartez erresistentzia kontrolatzen du Wahoo KICKR arrabolak. Horretarako, Wahoo Fitness enpresak aplikazio espezifiko bat garatu du, iOS zein Android sistema eragileekin bateragarria dena (Wahoo Fitness aplikazioa). Hala ere, bere aplikazio propioaz gain, arrabola inteligente hau merkatuan dauden beste hainbat aplikaziorekin bateragarria da (Trainerroad, Zwift, Bkool, Virtual Training, etab.), erabiltzaileari bere lagunekin zuzenean lehiatzeko aukera irekiz eta arrabolan pedaleatzearen esperientzia errealagoa bihurtuz.

Modu honetan, Wahoo Fitness enpresa estatu batuarrak apustu indartsua egiten du egungo teknologiaren alde, erabiltzaileari etxean dauzkan gailuak aprobetxatuz nahi duen entrenamendu esperientzia aukeratzeko abagunea eman eta indoor entrenamendua dibertigarriagoa bihurtuz.

Hala ere, nahiz eta Wahoo KICKR arrabolak eskaintzen dituen aukerak anitzak izan eta SKY UCI ProTour talde profesionalak erabili, literaturan ez dago arrabola hau goi mailako txirrindulariekin balidatzen duen ebidentzia zientifikorik, nahiz eta urte honen hasieran arrabola hau kalibratio dinamikoko tresna batekin (CALRGI) balidatzen duen ikerketa bat argitaratu (Zadow, Kitic, Wu, Smith & Fell, 2016).

3. HELBURUA

Wahoo KICKR arrabolaren ezaugarriek diotenaren arabera, arrabola hau errepideko egoerak simulatzeko gai da, goi errendimenduko txirrindularitzaren eskakizunak asetzen dituelarik (Lucía, Hoyos & Chicharro, 2001). Baina hipotesi hau ez dago oraindik ere zientifikoki frogatuta eta horregatik, horren aurrean zerbait egiteko beharra ikusten dugu.

Hori dela eta, lan honen helburu nagusia Wahoo KICKR arrabola zientifikoki balidatzea da, hau txirrindularien errendimendua aztertzeko zikloergometro baliagarri bat bezala erabili ahal izateko.

4. METODOA

Wahoo KICKR arrabolaren (KICKR: Wahoo Fitness, Atlanta, GA) potentziaren balidazioa egiteko, honek emandako potentzia datuak merkatuko Gold Standard-a den SRM potentziometroaren 7. modeloak (Jülich, Germany) emandakoekin konparatu ziren. Bi tresna hauek aldi berean konparatu ahal izateko, SRM potentziometroa *Euskadi Txirrindularitza Iraskundea* talde amateurraren Orbea Orca bizikletan (2016ko modelo) muntatu zen, non biela originalak aldatu ziren SRMa muntatu ahal izateko.

Behin, potentziometroa bizikletan ezarrita zegoela, hau Wahoo KICKR arrabolan muntatu beharra zegoen. Horretarako, honen atzeko gurpila kendu zen, izan ere arrabolak SRAM/Shimano modeloko 10 abiadurako pinoi kasete bat dauka, erresistentzia elektronikoarekin hornitua. Horrek, bizikleta arrabolara atzeko gurpilik gabe elkartzea baimentzen du, honen higadura ekidinez. Erresistentzia kontrolatzeko aldiz, Wahoo KICKR arrabolaren aplikazio propioa erabili zen (Wahoo Fitness), iOS zein Android sistema eragileekin bateragarria dena, Bluetooth zein ANT+ bidez.

Ikerketa honetan, aplikazioa iPhone 6 telefono mugikor baten bitartez maneiatu zen, iOS sistema eragilerako bertsioa erabiliz. SRMaren potentziometroaren potentzia berriz, modelo honen eskulekuko ordenagailuaren bitartez (PowerControl 7) monitorizatu zen.

Ikerketan parte hartu zuten subjektuei dagokienez, hauek *Euskadi Txirrindularitza Iraskundeko* goi mailako lau txirrindulari izan ziren, internazionalki zein lasterketa profesionaletan Espainiako Selektzioarekin lehiatu dutenak (Adina: 21.25 ± 1.30 urte; altuera: 175.88 ± 1.82 cm; GMI: 20.66 ± 0.30 kg/m²; pisua: 63.93 ± 1.42 kg). Ikerketan zehar subjektu guztiek beraien eguneroko entrenamendu, dieta eta ohiturekin jarraitu zuten. Hala ere, txirrindulariei testen aurreko egunean ez entrenatzeko esan zitzailen.

Balidazio egiteko, txirrindulariek bi test burutu zituzten: bat inkrementala eta bestea Functional Threshold Power (FTP) deritzon test jarraia. Testak bi egun

ezberdinetan burutu ziren, hauen artean gutxienez 48h-ko errekupeketa utziz eta test-retest efektua bilatuz.

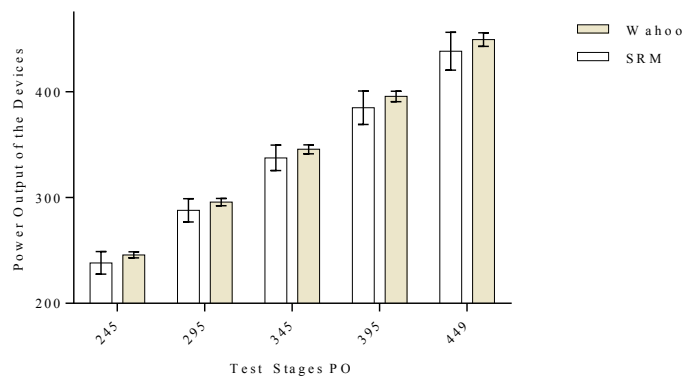
Test inkrementalaren protokoloa 1.5 W/kg-ekin hasi eta hiru minuturo karga 50W igotzean zetzan, txirrindularien gaitasun maximoraino (Gore & Tanner, 2013). FTP testa aldiz, Hunter & Coggan-en (2010) protokoloaren arabera burutu zen, non subjektuek 20 minutuz ahalik eta potentzia konstanteenean pedaleatu behar zuten.

Testetan zehar kadentzia inoiz ez zen 75rpm baina baxuagoa izan eta hau aldakorra zen, errealitatera ahalik eta gehien hurbiltzeko. Intentsitate aldaketak direla medio, txirrindulariek errepideko lehiaketetan ez baitute inoiz kadentzia konstante bat mugitzen; izan ere, hau beti lasterketaren eskakizunetara aldatzen dute. Kadentziaren aldaketa hori, sortzen duten potentziarekin modu linealean burutzen dute pedalkada bakoitzean efizienteagoak izateko (Lucía et al., 2001).

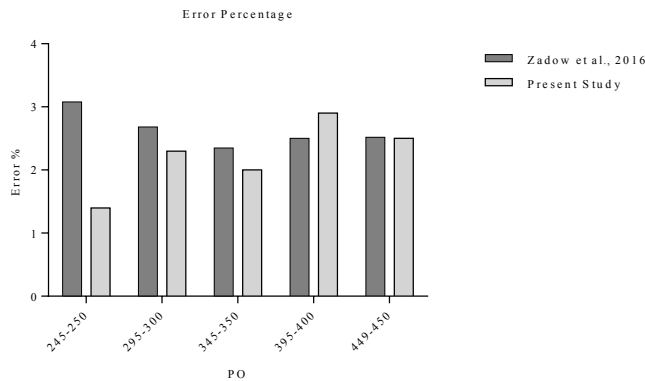
Analisi estatistikoari dagokionez aldiz, ehuneko errore metodoa erabili zen bi testetan emaitzak Zadow et al. (2016)-ekin alderatu ahal izateko, eta Bland eta Altman metodoa FTP testean; azken hau *bias* eta %95eko adostasun mugekin (LoA). Bland eta Altman metodoa FTP testarekin bakarrik erabiltzearen zergatia bertan kadentzia test inkrementalean baina konstanteagoa dela da. Izan ere, azken honetan kadentziak 75-115rpm bitartean mugitzen dira eta aldaketa nabermen horiekin potentziometro zein arrabolak segunduko neurtzen dituzten seinaleak aldatzen dira, desbiderazio estandarrak handitu eta metodo honen fidagarritasuna gutxituz. Datuei dagokienean, hauek GraphPad Prism programaren 6.0e bertsioa (La Jolla, CA, USA) erabiliz analizatu ziren.

5. EMAITZAK

Test inkrementalaren emaitzak 5 potentzia ezberdinetan konparatu ziren (245W, 295W, 345W eta 449W) Zadow et al. (2016)-en ikerketarekin, hauen kasuan 250W, 300W, 350W, 400W eta 450W-ko potentziak kontutan hartuta. 13. eta 14. irudietan ikusi daitekeen bezala, ehuneko erroreak ia berdinak dira, 245W-tan izan ezik, non ikerketa honen emaitzak Zadow et al. (2016)-ek 250W-tan lortutakoak baino %1.68 altuagoak diren.



13. Irudia: test inkrementaleko bloke bakoitzeko potentziak SRM (GS) eta Wahoo KICKR arrabolan.

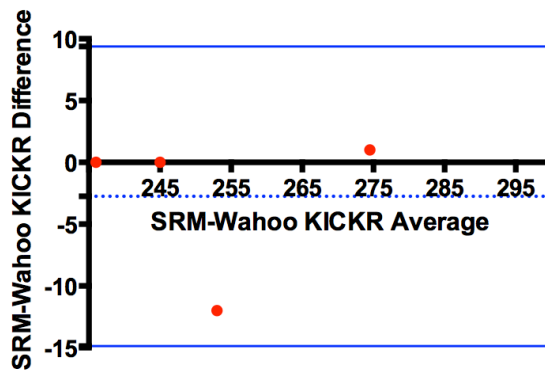


14. Irudia: potentzia ezberdinetako ehuneko erroreakon konparaketa Zadow et al. (2016) eta gure ikerketaren artean.

Beste aldetik, FTP testeko maitzak 245W, 250W, 260W eta 275W-ko intentsitateetan alderatu ziren. ehuneko errorea 245W eta 260W-tan (%3.81 eta %4.86) altuagoa da, non txirrindulariek 85rpm-tan pedaleatu zuten. 250W eta 275W-

etan aldiz, kadentziak 77rpm eta 81rpm-koak izan ziren eta erroreak baxuagoak (%1.63 eta %0.36).

Orokorrean, Wahoo KICKR arrabola eta SRM potentziometroaren arteko *bias* absolutuak eta %95-eko LoA FTP testarentzat Bland-Altman metodoarekin zehaztu ziren. Baloreek adostasun mugetan -14.87tik 9.372ra oszilatzen zuten -2.750 ± 6.185 -eko *bias*-ekin, 15. irudian ikusi daitekeen bezala.



15. Irudia: FTP testeko Bland eta Altman metodoaren grafika “Bias” eta %95eko adostasun tarteeekin

Bataz besteko potentzia absolutuen arteko ezberdintasunak Wahoo KICKR eta SRM-aren 245W-449W-en eta 245W-275W-en artean aldiz, 1. eta 2. tauletan adierazi dira. Ezberdintasun hauek potentzia igotzen den heinean handiagoak direla ikusiz.

Mean W	Mean SRM W \pm SD	Mean Wahoo KICKR W \pm SD	% error	Zadow's % error
245	238,27 \pm 10,57	245,81 \pm 2,82	3,08	1,4
295	287,94 \pm 11,04	295,67 \pm 3,47	2,68	2,3
345	337,44 \pm 12,06	345,57 \pm 4,24	2,35	2
395	385,83 \pm 15,73	395,48 \pm 4,91	2,5	2,9
449	438,15 \pm 17,88	449,21 \pm 6,47	2,52	2,5

1. Taula: test inkrementalaren datuen bataz bestekoak, desbiderazio estandarrak eta erroreak

Mean W	Mean SRM W±SD	Mean Wahoo KICKR W±SD	% error	Cadence
245	229±16,99	245±2,84	3,81	85 rpm
250	245±11,85	249±3,49	1,63	77 rpm
260	246±15,96	259±2,60	4,86	85 rpm
275	275±11,55	274±9,70	0,36	81 rpm

2. Taula: FTP testaren datuen batz bestekoak, desbiderazio estandarrak, erroreak eta kadentziak

6. EZTABAIDA

Guk dakigunaren arabera ez dago Wahoo KICKR arrabolaren fidagarritasuna txirrindulariekin frogatzen duen ebidentzia zientifikorik. Aurretik aipatu bezala, badago Wahoo KICKR arrabolaren balidazio eta fidagarritasuna aztertzen duen ikerketa bat, baina kalibrazio dinamikoko tresna bat (CALRIG) erabiliz (Zadow et al., 2016). Metodo hau Wahoo KICKR-a balidatzeko erabilgarria izan daiteke, baina ez du honen errepideko erabilgarritasuna isladatzen, torkea, indarra eta kadentzia beti konstanteak baitira.

Horregatik, lan honetan aurkezten den ikerketa, tresna hau benetazko txirrindulariak erabiliz balidatzen saiatzen da, Gold Standard-a den potentsiometroa erabiliz eta honen erabilera errealitateara egokitu eta arrabola hau entrenamendu zein errendimenduaren analisirako erabilgarria bilakatuz. Izan ere, errendimendurako analisisietako neurketa fisiologikoetan eta aukeraturiko erritmoan buruturiko testetan (adb.: iraupen konstantea eta distantzia konstanteko testak) zikloergometroek normalean \approx %2 eta %3 arteko ausazko erroreak sortzen dituzte potentsiaren neurketetan (Paton & Hopkins, 2001).

Test inkrementalen protokoloak askotan erabiltzen dira txirrindularien errendimendua aztertzerako orduan (Hopkins & McKenzie, 1994). Hau, test mota hauekin protokolo jarriak erabilia baina denbora laburrago batean, txirrindularien errendimendua ebaluatzeko informazio fisiologiko oso zehatza lortu dezakegulako da. Errepidean, txirrindulariek potentzia askotan pedaleatzen dute eta test inkrementalek zientzialariei txirrindulariek potentzia tarte horietan duten errendimendua aztertzea baimentzen diete. Hori dela eta, laborategiko test hauek errepidean txirrindulariek sortutako potentzia ezberdinak simulatzeko egokiak izaten dira eta horregatik aukeratu dugu Wahoo KICKR arrabola balidatzeko.

Wahoo KICKR arrabolak errepideko eremu ezberdinak simula ditzake bere software potenteari esker, txirrindularientzat leku itxietan estatikoki pedaleatzearen esperientzia errealagoa bihurtuz. Izan ere, txirrindulariak garapena eta kadentzia nahi dituen moduan aldatu ditzake, Wahoo KICKR arrabolak errepidea simulatzeko,

erresistentzia txirindulariaren pedaladei egokitzen dien bitartean. Hori dela eta, Wahoo KICKR arrabolaren balidazioa egiteko modurik egokiena, pertsona errealak erabiltzea da.

Gure test inkrementaleko emaizak Zadow et al. (2016)-enarekin alderatuz, erlazio handia dagoela ikusi daiteke, batez ere guk lortutako potentzia altuetan. Gure txirindulariek 245W mugitzen zituztenean, ehuneko errorea %3.08-koa zen Zadow et al. (2016)-ek 250W-tan azterturikoa baino %1.68 altuagoa. Guk 295W-tan lorturiko ehuneko errorea, Zadow et al. (2016)-ek 300W-tan lortutakoaren antzeakoagoa zen (%2.68 eta %2.3), %0.38 altuagoa bakarrik. Txirindulariak 345W-tan zebiltzanean ikusitako ehuneko errorea, Zadow et al. (2016)-ek 350W-tan lortutakoaren antzekoa zen (%2.35 eta %2), %0.35eko ezberdintasunarekin. Hurrengo potentzian, 395W guretzat eta 400W Zadow et al. (2016)-entzat, ehuneko erroreen (%2.5 eta %2.9) arteko ezberdintasuna pixka bat gehiago handitzen da, %0.4koa izanik. Bi ikerketen arteko konparaketa egiterakoan lortutako ehuneko errore txikiena, %0.02koa izan zen, zein guk 449W-tan lortutakoaren (%2.52) eta Zadow et al. (2016)-ek 450W-tan lortutakoaren (%2.5) artekoa zen.

Bestalde, 1. taulan Wahoo KICKR arrabolaren potentzia datuak SRM-arenak baina konstanteagoak direla ikusi daiteke, honen desbiderazioa estandarrak nabarmen baxuagoak baitira (SRM zein Wahoo KICKR arrabolarentzat: 245W-tan $238,27 \pm 10,57W$ eta $245,81 \pm 2,82W$; 295W-tan $287,94 \pm 11,04W$ eta $295,67 \pm 3,47W$; 345W-tan $337,44 \pm 12,06W$ eta $345,57 \pm 4,24W$; 395W-tan $385,83 \pm 15,73W$ eta $395,48 \pm 4,91W$ eta 449-tan $438,15 \pm 17,88W$ eta $449,21 \pm 6,47W$). Honekin batera, potentzia igotzen den heinean bai SRM potentziometroan zein Wahoo KICKR arrabolan desbiderazio estandarrak handitzen direla ikusten da.

FTP testari dagokionez, azken urteetan honen arrakasta asko igo da, txirindularien atalase anaerobikoa modu ez-zuzenean lortzeko erabilgarria baita. Test honek txirindulariak 50-60 minututan ahalik eta potentzia altuena mantentzeko duen gaitasuna adierazten du. Hala ere, denbora tarte hori test batentzat luzeegia denez, 20' minutuz burutzen da jarraian lortutako bataz besteko potentziari %5a kenduz, emaitzak baliagarriak izateko (Hunter & Coggan, 2010). Lortutako bataz

besteko potentzia hori Potentzia Kritikoa da (Critical Power Output), zeinek atalase anaerobikoko potentzia adierazten duen. Honengatik, test hau atalase anaerobikoa lortu eta entrenamendu zonak jartzeko metodo simple eta erabilgarri bat da.

FTP testa Wahoo KICKR arrabolan burutu daitekeenez, honen baliogarritasun eta fidagarritasuna test jarrai honetan ebaluatzea ere ondo legokeela deritzogu. Modu horretan, Wahoo KICKR arrabolak erritmo eta kadentzia konstanteetan potentzia datu fidagarriak ematen dituen aztertu daiteke, informazio hau erlojupekoetarako oso erabilgarria izanik.

Ikerketa honen kasuan ikusi dugunaren arabera, FTP testeko emaitzak Paton eta Hopkins-ek (2001) zikloergometroek sortzen duten ausazko errorearen barruan koka ditzakegu (\approx %2 eta %3) datu gehienak, lortutako erroreak hauek izanik: 245W-tan %3.81eko errorea, 250W-tan %1.63ko errorea, 260W-tan %4.86ko errorea eta 275W-tan 0.36ko errorea. Ikusten den bezela, 250W eta 275W-tan lorturiko erroreak Paton eta Hopkins-ek (2010) onarturikoaren barruan daude, baina 245W-tako errorea mugan dago eta 260W-etakoa ez da onargarria. Hala ere, txirrindulari batzuekin errore hori zergatik gairitzen den sakonago ikertu beharko litzatekeela iruditzen zaigu izan ere, txirrindulari bakoitzak pedaleatzerako orduan teknika propioa erabiltzen du eta horrek eragina izan lezake (Hug & Dorel, 2009).

FTP testaren kasuan ere, batzaz besteko zein desbiderazio estandarrei begiratzen badiegu (2. taula) hemen ere wahoo KICKR arrabolaren kasuan baxuagoak direla ikusi dezakegu (SRM zein Wahoo KICKR arrabolarentzat: 245W-tan $229 \pm 16.99W$ eta $245 \pm 2.84W$; 250W-tan $245 \pm 11.85W$ eta $249 \pm 3.49W$; 260W-tan $246 \pm 15.96W$ eta $259 \pm 2.60W$ eta 275W-tan $275 \pm 11.55W$ eta $274 \pm 9.70W$). Ehuneko erroreetan bezala, desbiderazio estandarrek ere kadentzia altuagoetan handiagoak direla ikusi daiteke.

Azkenik, aipatu behar da laborategian Wahoo KICKR arrabolarekin egin diren testetan, *Euskadiko Txirrindularitza Ikaskundeko* txirrindulariek lortu dituzten emaitzak beraien prestakuntzarako zelaian egindako testetan lortutako datuekin bat datozela. Horregatik, aurretik aipatu bezala, arrabolak emandako datuak nahiko

fidagarriak direla iruditzen zaigu nahiz eta artikulua zientifiko bat argitaratzeko eta baliogarritasuna zientifikoki onartzeko informazio eta datu gehiago behar diren. Hala ere, lortutako datu eta ateratako ondorioei Wahoo KICKR arrabola SKY UCI ProTeam bezalako goi mailako talde profesional batek erabiltzen duela gehitzen badiogu, arrabola honek ergometro eramangarri baten gisa lan egiteko erabilgarria dirudi.

7. ONDORIOAK

Egindako ikerketaren emaitzetan ikusi daitekeenaren arabera, badirudi Wahoo KICKR arrabola fidagarria eta baliagarria dela potentzia tarte espezifikoko batzuetarako.

Horrekin batera, ikerketa honetan bere fidagarritasun eta baliogarritasuna kadentzia zein potentzia aldakorrak direnean nabarmenagoa dela ikusi da, txirringularririk test inkrementalean lortutako ehuneko erroreak FTP test jarraian lortutakoak baino baxuagoak baitira.

Horregatik, Wahoo KICKR arrabolak errealitateko egoerak modu egokian simulatzen dituela eta errendimendu testak burutzeko zikloergometro eramangarri bat bezala erabili daitekeela esan dezakegu.

8. IKERKETAREN MUGAK

Egindako ikerketa honen mugei dagokionez, ondorioetan aipaturiko baieztapena zientifikoki frogatzeko ikerketa gehiagoren edo osatuago baten beharra ikusten dugu.

Horretarako, hauek lagin handiago bat erabili beharko lukete emaitzak hobeto egiaztatzeko eta baita test gehiago ere, Wahoo KICKR arrabolak subjektu ezberdinekin eta egoera ezberdinetan nola jarduten duen sakonago aztertu ahal izateko.

Honekin batera, interesgarria litzateke ikerketa horiek Gold Standard bat baino gehiagorekin alderatzea, arrabolak baliogarri zein fidagarriak diren potentziometro bat baino gehiagorekin konparatuta duen zehaztasuna ikusteko.

9. ETORKIZUNeko IKERKETA ILDOAK

Etorkizuneko ikerketei dagokienez, interesgarria iruditzen zaigu Wahoo KICKR arrabolaren azterketa pausu bat aurrerago eramatea eta potentziometro eramangarriez gain, beste arrabola zein zikloergometro estatikoekin alderatzea.

Izan ere, potentzia kontrolatzeaz gain, arrabola batek baditu berezko beste hainbat ezaugarri (trinkotasuna, mugikortasuna, pisua...) eramangarriak diren potentziometroekin konparagarriak ez direnak.

Horregatik eta gaur eguneko merkatuak eskaintzen dituen aukera anintzak aprobetxatuz, Wahoo KICKR arrabola potentzia neurtzen duten beste arrabolekin alderatzea etorkizunean erabilgarria litzatekeela iruditzen zaigu.

Bestalde, Wahoo KICKR arrabola zikloergometro mugikor bat bezala erabiltzeko egokia denez, garrantzitsua iruditzen zaigu gaur egun errendimenduaren analisisian erabiltzen diren zikloergometro estatikoekin alderatzea.

10. BIBLIOGRAFIA

- Allen, H., & Coggan, A. (2010). *Training and Racing with a Power Meter*. Colorado, United States of America: VeloPress.
- Aziz, N., Irwin, M. R., Dickerson, S. S., & Butch, A. W. (2004). Interpreting Method Comparison Studies by Use of the Bland–Altman Plot: Reflecting the Importance of Sample Size by Incorporating Confidence Limits and Predefined Error Limits in the Graphic To. *Clinical Chemistry*, 50(11), 2215–2216.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574–9.
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. del. (2015). Validity and Reliability of the PUSH Wearable Device To Measure Movement Velocity During the Back Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 528–533.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 868–873.
- Cavas, F., & Pallares, J. G. (2015). Validez y Reproducibilidad de los Potenciometros Garmin Vector y PowerTap. (Master Amaierako Lana). Universidad de Murcia, Murcia.
- Duc, S., Villerius, V., Bertucci, W., & Grappe, F. (2007). Validity and Reproducibility of the Ergomo® Pro Power Meter Compared With the SRM and Powertap Power Meters. *International journal of sports physiology and performance*, 2(3), 270.

- Ericsson, M., & Nautsch, H. (2015). Transmission, Storage, and Visualization of Data with ANT+. (Master Amaierako Lana). Linköpings Universitet, Suedia.
- Gardner, A. S., Stephens, S., Martin, D. T., Lwaton, E., Lee, H., & Jenkins, D. (2004). Accuracy of SRM and Power Tap Power Monitoring Systems for Bicycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1252-1258.
- Gomez, C., Oller, J., & Paradells, J. (2012). Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An emerging low-power wireless technology. *Sensors*, 12(9), 11734-11753.
- Gore, C. J., & Tanner, R. K. (2013). *Physiological Tests for Elite Athletes-2nd Edition*. Lower Mitcham, South Australia: Human Kinetics.
- Hernando, G. (2015eko otsailaren 11a). Sistemas de transmisión inalámbrica en la tecnología para el deporte [Blog bateko mezua]. <http://blog.zitasport.com/3958/2015/02/11/sistemas-de-transmision-inalambrica-en-la-tecnologia-para-el-deporte/> -tik errekeratua.
- Hopker, J., Myers, S., Jobson, S. A., Bruce, W., & Passfield, L. (2010). Validity and Reliability of the Wattbike Cycle Ergometer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 731–736.
- Hopkins, S. R., & McKenzie, D. C. (1994). The Laboratory Assessment of Endurance Performance in Cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(3): 266-274.
- Hug, F., & Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19, 182-198.
- Isvan, O. (2015). Wind speed, wind yaw and the aerodynamic drag acting on a bicycle and rider. *Journal of Science and Cycling*, 4(1), 42.

- Lei, H., Zaloudik, J., & Vorechovsky, I. (2002). Application of the Bland-Altman Plot for Interpretation of Method-Comparison Studies: A Critical Investigation of Its Practice. *Clinical Chemistry* 48(5), 799–801.
- Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of Professional Road Cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325–337.
- Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1361–1366.
- Mahmoud, I., Othman, A. A. A., Abdelrasoul, E., Stergiou, P., & Katz, L. (2015). The reliability of a real time wearable sensing device to measure vertical jump. *Procedia Engineering*, 112, 467–472.
- Millet, G. P., Tronche, C., Fuster, N., Bentley, D. J., & Candau, R. (2003). Validity and reliability of the Polar® S710 mobile cycling powermeter. *International journal of sports medicine*, 24(3), 156-161.
- Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports Medicine*, 31(7), 489–496.
- Stannard, S., Macdermaid, P., Miller, M., & Fink, P. (2015). The power of cycling. *Movement, Health & Exercise*, 4(2), 1-8.
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size - or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279–82.
- Wooles, A. L., Robinson, A. J., & Keen, P. (2005). A static method for obtaining a calibration factor for SRM bicycle power cranks. *Sports Engineering*, 8, 137–144.
- Zadow, E. K., Kitic, C. M., Wu, S. S. X., Smith, S. T., & Fell, J. W. (2016). Validity of Power Settings of the Wahoo KICKR Power Trainer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

11. ERANSKINAK

VALIDITY AND RELIABILITY OF WAHOO KICKR POWER TRAINER WHEN COMPARED TO SRM POWER METER

Authors: Irati Otxoteko, PhD Jordan Santos, PhD Eneko Fernández, PhD Iñaki Arratibel and PhD Gaizka Mejuto.

Congress: icSPORTS 2016: 4th International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support.

Place: Porto, Portugal

Date: 7-9th of November, 2016

Abstract

The purpose of this study was to assess the validity and reliability of the Wahoo KICKR Power Trainer (Wahoo Fitness, Atlanta, GA), comparing with the Gold Standard SRM Power Meter in highly trained cyclists during a staggered test. This test was conducted using a standardized protocol: starting at 1.5 W/kg with 50 W of increments every 3 min. Other studies have validated this trainer using mechanical devices but to the best of our knowledge, no one has reported its reliability with cyclists. According to our results, Wahoo KICKR Power Trainer is a valid and accurate tool to measure power with real cyclists, and it can be used as a portable cycloergometer, which confers an extreme usefulness.

Keywords: cycling, power, training, reliability

Introduction

Power meters have become one of the most used devices for cyclists and coaches to monitor and plan training and competition. The power is the main performance determinant in the modern cycling, since it does not change for external factors such as fatigue, temperature or dehydration. However, the heart rate-power combination is very interesting to see how the cyclist organism is responding to the effort and to schedule a training program when a power meter is not available (Hunter & Coggan, 2010).

In order to assess a cyclist performance profile, it is commonly used a laboratory test on a cycloergometer. Such devices have the advantage of being accurate and reliable, but have as well some serious disadvantages as the impossibility to move, inability to replicate the road demands, cyclist's own bike measurements and settings. Because of that, tests performed under laboratory conditions hardly mimic real cycling, and the data from these studies may not be applicable to professional cyclists (Lucía, Hoyos & Chicharro, 2001).

Highly trained cyclists have set their bicycles adapted to their body, in order to

avoid injuries, to have an effective pedaling technique and gross efficiency, as well as to make long ridings comfortable. Moreover, a trainer that allows cyclists to ride with their own bike, seem to produce more reliable results of competitive performance and replicate the road cycling demands (Paton & Hopkins, 2001). So when they perform a laboratory test in a traditional cycloergometer, they use to have positional adjustment problems and can not performed the test giving their best (Bertucci, Duc, Villerius, Pernin & Grappe, 2004).

Thus, we thought that the solution of a portable power trainer could help to perform more realistic tests and trainings. Within the market there is a wide range of options in constant development, but Wahoo KICKR Power Trainer represents a very interesting option since its stability and Power Output (PO) ranges meet high performance cycling requirements (Lucía et al., 2001) and in fact it is currently used by UCI – Pro Tour teams.

Methods

The validity of the Wahoo KICKR (KICKR: Wahoo Fitness, Atlanta, GA) PO was assess by comparison with the Gold Standard (GS) SRM Power Meter (Jülich, Germany) PO. The SRM Power Meter was set in a *Euskadi Cycling Foundation* amateur team Orbea Orca (2016's model) bicycle, from which the original crankset was removed to allow an SRM Power Meter to be fitted.

To attach the bicycle in the Wahoo KICKR Power Trainer, we removed the rear wheel attaching the bicycle via the trainer's SRAM/Shimano 10-speed cassette with electronic resistance provided. In order to control the resistance, the Wahoo KICKR Power Trainer has its own app, which is able to use with iOS or Android operating systems via Bluetooth and/or Ant +.

The subjects were four *Euskadi Cycling Foundation* highly trained cyclists, who had ridden internationally and in some professional racings with the Spanish National Team (Age: 21.25 ± 1.30 yr; height: 175.88 ± 1.82 cm; BMI: 20.66 ± 0.30 kg/m²; weight: 63.93 ± 1.42 kg). During the research all the subjects continued

with their diary training, diet and habits. However, the subjects were told not to train the days of the tests.

They performed an incremental test. The protocol consisted of increasing work loads starting at 1.5 W per kg of participant's body mass, increasing 50 W every 3 minutes until volitional exhaustion (Tanner & Gore, 2012). During the test the cadence was never lower than 75 rpm. Cadence was variable as during road races the cyclists never move a constant cadence, because of the intensity changes. Furthermore, they increase the cadence linearly with the PO to be more efficient as seen in other studies (Lucía et al., 2001).

For the statistical analysis, we used percentage error methods (Sullivan, 2012) and GraphPad Prism 6.0e version software (La Jolla, CA, USA).

Results

In order to be able to compare power values with a previous study in which the trainer was validated, we set 5 different intensities (245 W, 295 W, 345 W, 395 W and 449 W) that coincided with Zadow, Kitic, Wu, Smith & Fell (2016) study for 250 W, 300 W, 350 W, 400 W and 450 W). As we can see in Figure 2 the percentage errors are almost the same, except in 245 W, where our results are 1.68% higher than Zadow et al. (2016) at 250 W.

Discussion

To the best of our knowledge there is no scientific evidence of reliability of Wahoo KICKR Power Trainer when compared to a GS device for power measurement, and this device became a very popular device amongst elite cyclists. There is a study which analyzed the Wahoo KICKR Power Trainer reliability and validity, but using a dynamic calibration rig (CALRIG) (Zadow et al., 2016). This method could be useful to validate the Wahoo KICKR, but it is not reflecting its road's utility, since the torque, force and cadence are always constant, and thus differs substantially from road cycling. Therefore, our study tried to validate this tool with real cyclists using a GS Power Meter SRM, adapting

its use to the reality, where tests based on physiological measures and self-selection of pace (e. g. constant-duration and constant-distance tests) usually produce random error of at least ≈ 2 to 3% in the measure of PO (Paton & Hopkins, 2001).

Incremental test protocols are often used to measure the performance of cyclists (Hopkins & McKenzie, 1994). Furthermore, on the road the cyclists pedal in a very large PO and the incremental tests allow to assess the performance in different ranges of PO. The results of this study showed a small error between Wahoo KICKR Power Trainer and the GS SRM Power Meter, which represents the major finding of the present study.

Our incremental tests results showed an error of 3.08%, 1.68%, slightly higher than when the trainer was compared to a calibration rig in similar intensity (Figure 2). This might be due to the cadence changes and intensity fluctuations product of performing with real cyclists. At 295 W our percentage error was more similar to Zadow et al. (2016) at 300 W (2.68% and 2.3%), just 0.38% higher. Riding at 345 W the percentage error was almost the same as the previous one, with a difference of 0.35% (2.35% and 2%). In the next PO of 395 W, the percentage error difference increased 0.4% (between 2,5% and 2,9%). The smallest difference registered between the two percentage errors in this test was 0.02%; which appeared at 449 W. In this case difference was minimum, ranging values from 2.52% in the present study and 2.5% in Zadow et al. (2016) at 450 W of PO.

In conclusion, the present study shows that the Wahoo KICKR Power Trainer is very constant measuring cyclists PO conferring the necessary validity and reliability to use it as portable cycloergometer for training as well as testing purposes.

Acknowledgements

We should like to thank the Euskadi Cycling Foundation for accepting the proposal to help us with the project and especially to the team director Jorge Azanza, for supporting us with the material and his knowledge.

Illustrations and tables

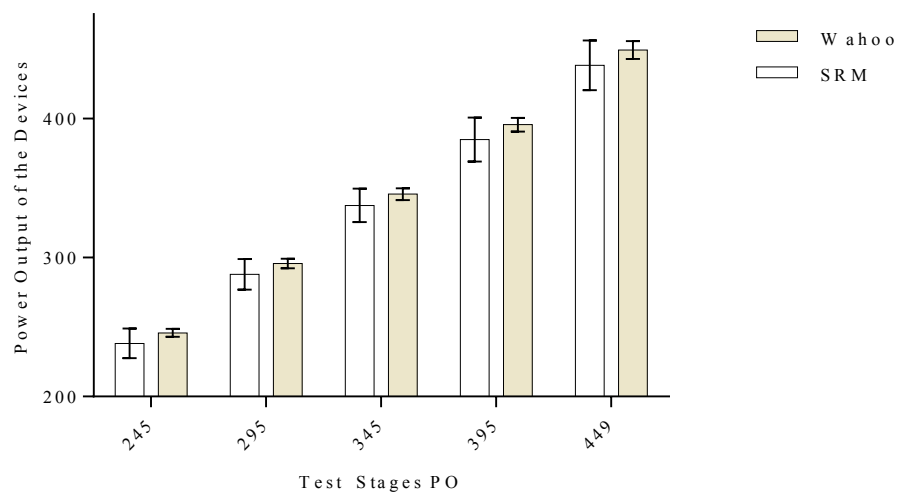


Figure 1. Test power outputs (PO) by stages in both devices, SRM (GS) and Wahoo KICKR Power Trainer.

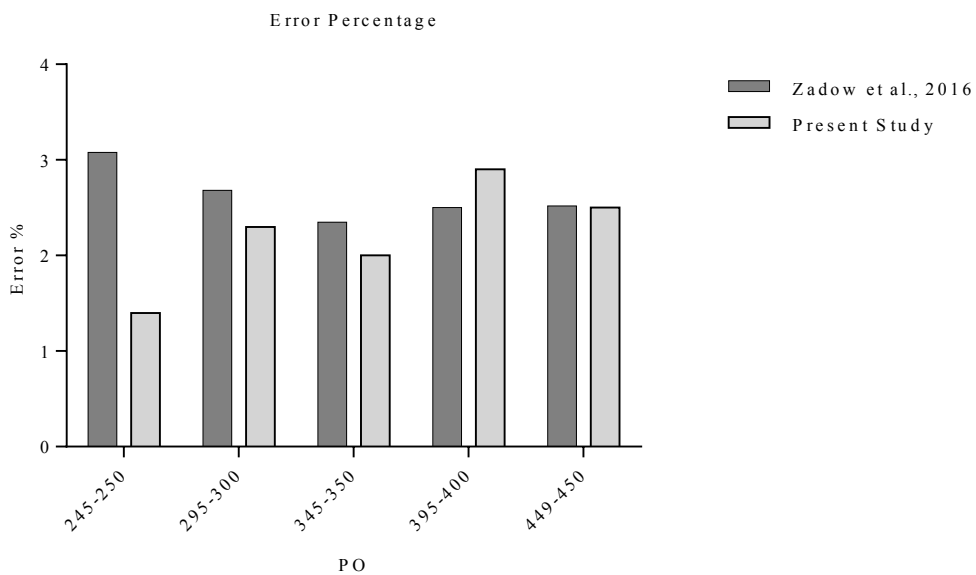


Figure 1. Error percentage comparison at different PO Zadow et. al. (2016) vs. present study.

Work Load (W)	SRM		Wahoo	
	Mean (W)	SD	Mean (W)	SD
245	238.27	10.57	245.81	2.82
295	287.94	11.04	295.67	3.47
345	337.44	12.06	345.57	4.24
395	384.83	15.73	395.48	4.91
449	438.15	17.88	449.21	6.47

Table 1. Power outputs and SD for SRM and Wahoo KICKR Power Trainer at different work loads.

References

- Allen, H., & Coggan, A. (2010). *Training and Racing with a Power Meter*. Colorado, United States of America: VeloPress.
- Aziz, N., Irwin, M. R., Dickerson, S. S., & Butch, A. W. (2004). Interpreting Method Comparison Studies by Use of the Bland–Altman Plot: Reflecting the Importance of Sample Size by Incorporating Confidence Limits and Predefined Error Limits in the Graphic To. *Clinical Chemistry*, *50*(11), 2215–2216.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockett, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, *33*(15), 1574–9.
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. del. (2015). Validity and Reliability of the PUSH Wearable Device To Measure Movement Velocity During the Back Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(2), 528–533.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International Journal of Sports Medicine*, *26*, 868–873.
- Coe, R., & Merino, C. (2003). Magnitud del efecto: Una guía para investigadores y usuarios. *Revista de Psicología de la PUCP*, *21*(1), 147–177.
- Frías, D. M., Pascual, J., & García, J. F. (2000). Tamaño del efecto del tratamiento y significación estadística. *Psicothema*, *12*(2), 236–240.
- Gore, C. J., & Tanner, R. K. (2013). *Physiological Tests for Elite Athletes-2nd Edition*. Lower Mitcham, South Australia: Human Kinetics.

- Hopker, J., Myers, S., Jobson, S. A., Bruce, W., & Passfield, L. (2010). Validity and Reliability of the Wattbike Cycle Ergometer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 731–736.
- Hopkins, S. R., & McKenzie, D. C. (1994). The Laboratory Assessment of Endurance Performance in Cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(3), 266-274.
- Lei, H., Zaloudik, J., & Vorechovsky, I. (2002). Application of the Bland-Altman Plot for Interpretation of Method-Comparison Studies: A Critical Investigation of Its Practice. *Clinical Chemistry* 48(5), 799–801.
- Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of Professional Road Cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325–337.
- Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1361–1366.
- Mahmoud, I., Othman, A. A. A., Abdelrasoul, E., Stergiou, P., & Katz, L. (2015). The reliability of a real time wearable sensing device to measure vertical jump. *Procedia Engineering*, 112, 467–472.
- Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports Medicine*, 31(7), 489–496. <http://doi.org/10.2165/00007256-200232140-00006>
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size - or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279–82.
- Wooles, A. L., Robinson, A. J., & Keen, P. (2005). A static method for obtaining a calibration factor for SRM bicycle power cranks. *Sports Engineering*, 8, 137–144.
- Zadow, E. K., Kitic, C. M., Wu, S. S. X., Smith, S. T., & Fell, J. W. (2016). Validity of Power Settings of the Wahoo KICKR Power Trainer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.