

**HEZKUNTZA ETA KIROL FAKULTATEA**  
**Jarduera Fisikoaren eta Kirolaren Zientzietako Gradua**  
Ikasturtea: 2020-2021

**INDARRAREN APLIKAZIOA TXIRRINDULARITZAN**

EGILEA: Lander Etxebarria Respaldiza  
ZUZENDARIA: Eneko Fernández Peña

Data, 2021eko maiatzaren 16a

# LABURPENA

Txirrindularitzaren helburua abiadura lortzeko pedaletan ahalik eta indar gehien aplikatzea da. Bini eta Rossatok (2014) pedal-indarraren eta teknikaren inguruko berrikusketan egin zuten, eta pedal-indarrean eta pedal-kolpearen teknikan eragiten zuten aldagaiak (lankargaren maila, pedal-kolpearen kadentzia, bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa, nekearen maila eta txirrindulariaren trebetasuna edo esperientzia) aztertu zituzten. Lan honen helburua, Bini eta Rossaton (2014) oinarrituz, txirrindularitzako pedal-indarraren aplikazioaren inguruko egunerapena egitea izan zen. Aztertutako ikerketek Bini eta Rossatoren ondorioak (2014) berretsi zituzten, beraz ez zen aurreko ikerketak eguneratzen zituen aurkikuntza berririk aurkitu. Pedal-kolpearen fase gorakorrean arreta jarritz, indar eraginkortasuna hobetu daitekeela eta honek errendimendua hobetzen lagunduko lukeela ondorioztatu zen. Horregatik, epe luzera pedal-kolpearen teknika hobetzea gomendagarria zela ondorioztatu zen.

# AURKIBIDEA

SARRERA .....	5
Bizikletan eragiten duten indarrak.....	5
Pedal-indarrak.....	6
Pedal-kolpearen teknika .....	7
Pedal-indar eraginkortasunean eragiten duten faktoreak.....	10
METODOLOGIA .....	12
EMAITZAK.....	14
Lankargaren maila.....	14
Pedal-kolpearen kadentzia .....	16
Bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa.....	17
Nekearen maila .....	18
Txirrindulariaren trebetasuna edo esperientzia .....	20
EZTABAIDA.....	21
ONDORIOAK.....	26
ERREFERENTZIAK.....	27

## IRUDIEN AURKIBIDEA

1. Irudia. Indar-osagaiak .....	6
2. Irudia. Pedal-kolpearen faseak.....	7
3. Irudia. Pedal-kolpearen eraginkortasun indizea.....	8
4. Irudia. Teknikak indar eraginkortasun indizean duen eragina.....	9
5. Irudia. Teknikaren araberako pedalaren torkearen profila.....	10
6. Irudia. Bilatze metodoaren fluxu diagrama. ....	14
7. Irudia. Potentzia ekoizpenaren %aren eragina indar eraginkortasunean txirrindulari profesionaletan eta elite mailako txirrindularietan.....	16
8. Irudia. Pedal-indar eraginkorraren profila, aldakako flexio ariketa nekagarriak eta aldakako estentsio ariketa nekagarriak egin aurretik eta egin ondoren.....	19
9. Irudia. Pedal potentziaren eta eraginkortasun indizearen batez besteko profila pedal-kolpearen ziklo oso batean zehar kuadrizepsa selektiboki nekatu ondoren.....	20

## TAULEN AURKIBIDEA

1. Taula. Txirrindulari profesional (UCI ProTour mailakoak), elite (UCI Continental) eta klub mailakoen torke balioak potentzia desberdinetan.....	15
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

# SARRERA

Errepideko txirrindularitzaren helburua lehiakideei gailentzeko ahalik eta energia kostu txikienarekin ahalik eta abiadura azkarrena lortzea da. Errendimendua lortzeko ezinbestekoa da txirrindulariaren eta bizikletaren arteko elkarekintza optimoa izatea. Txirrindulariaren eta bizikletaren arteko kontaktua pedalen, eskulekuaren eta zelaren bidez ematen da, hortaz hiru puntu hauen artean indarren transmisioa ematen da. Indarren transmisioa modu optimoan ematen bada bizikletaren abiadura ahalik azkarren joatea eta energia erabilera ahalik eta txikienarekin lor daiteke (Bini eta Rossato, 2014; Too, 1990).

Lan honetan, lehenik eta behin txirrindulariak pedalean indarra nola aplikatzen duen aztertzen da, Bini eta Rossatok 2014an ordurate publikatutako ikerketen berrikusketan oinarrituz. Honetarako, Bini eta Rossatok (2014) pedal-indarraren eta bere aplikazioaren inguruan esaten dutena azaltzen da. Ondoren, 2014. urtetik aurrera orain arte txirrindularitzako pedal-indarraren inguruko publikatutako lanen berrikusketa egiten da. Pedal-indarraren eraginkortasunean eragina duten faktoreetan arreta jarri da, eta eraginkortasunean eta pedal-kolpearen teknikan duten eragina aztertu da batez ere.

Lan honen helburua, Bini eta Rossatoren (2014) berrikusketan oinarrituz, txirrindularitzako pedal-indarraren aplikazioaren inguruko egunerapena egitea izan zen.

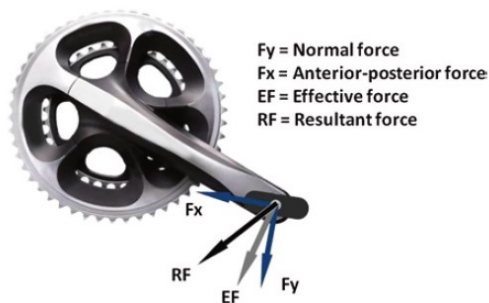
## Bizikletan eragiten duten indarrak

Txirrindulari-bizikleta binomioan hainbat indarrek eragiten dute txirrindulari eta bizikletaren arteko hiru kontaktu puntuetan ematen denaz gain. Txirrindulariak giharren uzkurketaren bidez pedaletara transmititzen den indarra sortzen du, eta indar honek bizikleta desplazatzea eragingo du indar mekanikoaren transmisioaren bitartez. Zeregin honetan, eskulekuak eta zelak gihar-kateen bidez pedalei indarra transmititu ahal izateko euskarria dira. Hala ere, desplazamendua oztopatzen duten kanpo-indarrak daude, hala nola, erresistentzia aerodinamikoa, higidura-erresistentzia eta grabitatearen ondoriozko erresistentzia. Erresistentzia aerodinamikoa aireak eragiten du, 20 km/h baino abiadura handiagoan higitzean arrastatze indarraren %90 inguru airearen erresistentzia gainditzeko erabiltzen da. Erresistentzia aerodinamikoa abiaduraren karratuarekiko proportzionala da, hori dela-eta zenbat eta desplazamendu abiadura azkarragoa izan abiadura handitzeko pedalei aplikatu beharreko indarra handiagoa izango da. Zenbat eta abiadura azkarragoa izan airearen erresistentzia handiagoa da. Higidura-erresistentzia gurpil-azala eta errepidearen arteko marruskadurarengatik ematen da, eta txirrindulari eta bizikletaren pisua, abiadura, pneumatikoaren

presioa, pneumatikoaren materiala, pneumatikoaren zabalera, errepidearen egoera eta tenperatura bezalako aldagaiak baldintzatu dezakete. Grabitatearen ondoriozko erresistentzia aldapan gora ematen da, zenbat eta aldapa handiagoa izan bere eragina handiagoa izango delarik, baita txirrindulariaren pisuaren arabera ere. Hau guztia dela-medio, erresistentzia-indar guztiak minimora gutxitzea lortzen bada, eraginkortasuna handituko da, pedalei aplikatutako indar gehiena aurreranzko desplazamenduan bihurtuko baita (Bini eta Rossato, 2014; De Groot, 1995).

## Pedal-indarrak

Pedalarik aplikatutako indarra hainbat osagaietan deskonposatu daiteke: indar-osagai normala, aurre-atzekoa, erdi-albokoa, erradiala eta tangenziala. Indar desberdinen konbinaziotik sortutako emaitza indar erresultantea da. Indar-osagai normala pedalaren gainazalarekiko perpendikularra da. Aurre-atzekoa pedalaren gainazalarekiko paraleloa den eta aurrerako edo atzerako norabidean doan osagaia da. Erdi-albokoa osagai laterala da, indar-osagai honek garrantzi txikia dauka pedal-kolperako, beraz ez da kontuan hartzen. Osagai erradiala edo zentrifugoa bielarekiko paraleloa da, osagai hau ez-eraginkorra da. Eta azkenik, bielarekiko elkarzuta den indar-osagaia, hau da indar tangenziala, indar eraginkorra da (1. Irudia). Bizikleta era eraginkorrean desplazazati ahal izateko sortutako guztizko indarraren zatirik handiena indar eraginkorrean bihurtu beharko litzateke. Ikuspuntu mekanikotik indarrak ez xahutzeko txirrindulariak indarra bielarekiko elkarzuta den norabidean aplikatzeko gai izan behar du. Bestela indarra bielaren ardatzera zuzenduko da eta indarra xahutuko da (Bini eta Rossato, 2014; Fonda & Sarabon, 2010).

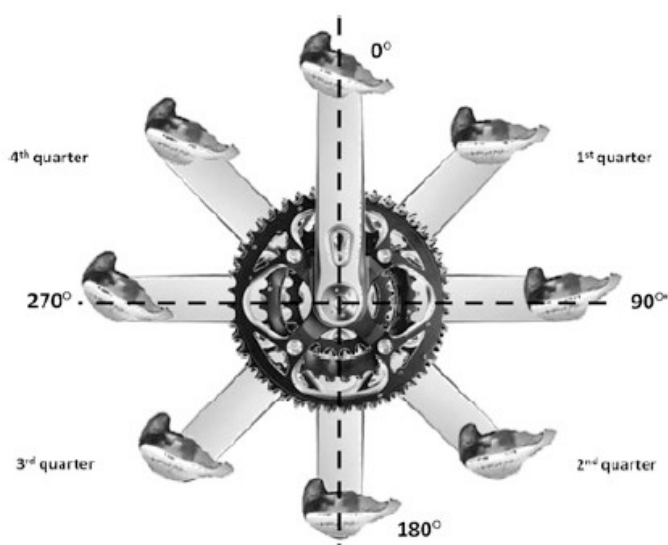


1. Irudia. Indar-osagaiak: indar normala ( $F_y$ ), aurre-atzeko indarra ( $F_x$ ), indar eraginkorra edo tangenziala ( $EF$ ) eta indar erresultantea ( $RF$ ). Bini eta Rossato (2014)tik hartua.

## Pedal-kolpearen teknika

Errendimendu gorena ahalbidetuko duen pedal-kolpea lortzeko, begi hutsez sinplea dirudien kirolkeinu konplexu hau ulertzea beharrezkoa da. Pedal-kolpea kate zinetiko irekian burutzen den keinu ziklikoa da, baina pedalaren ibilbide zirkularrarengatik mugatuta dagoena eta zeinetan giharren uzkurketa kontzentrikoa nagusitzen den. Pedal-kolpea baldintzatzen duten faktoreak sortutako potentzia, pedal-kolpearen maiztasuna, pedala eta zapataren arteko elkarrekintza, gorputzaren posizioa, nekea eta txirrindulariaren esperientzia dira. Pedal-kolpean zehar giharrek honako aktibazio-sekuentzia jarraitzen dute: belaunaren hedatzaileetatik aldaka hedatzaileetara eta orkatilaren tolestatzaile plantarretara, eta belaunaren tolestatzaileetatik orkatilaren tolestatzaile dortsaleetara (Bini & Carpes, 2014; Hug & Dorel, 2009).

Pedal-kolpea aztertu ahal izateko faseetan banatzen da (2. Irudia). Pedal-kolpearen hasierako eta amaierako puntua pedala zorutik puntu altuenean dagoenean aurkitzen da, biela eta pedalaren angelua  $0^\circ$ koa denean. Hortaz,  $0^\circ$ tik  $180^\circ$ ra, pedalaren puntu altuenera mugitzen denean, pedal-kolpearen fase beherakorra edo propulsio fasea izango da. Eta  $180^\circ$ tik  $360^\circ$ ra, pedala puntu baxuenera mugitzen denean, pedal-kolpearen fase gorakorra, trakzio fasea edo berreskuratze fasea izango da. Bi fase hauen artean bi trantsizio-fase daude, zeinetan indar tangenziala oso txikia den edo indar mekanikoa eraginkorra ez den. Beste era batean esanda, pedal-kolpean zehar bi puntu "hil" aurkitzen dira. Goiko puntu hila pedala  $0^\circ \pm 5^\circ$ tan aurkitzen denean ematen da, eta beheko puntu hila pedala  $180^\circ \pm 5^\circ$ tan aurkitzen denean (Fonda & Sarabon, 2010).



2. Irudia. Pedal-kolpearen faseak: Fase beherakorra ( $0^\circ$ tik  $180^\circ$ ra) eta fase gorakorra ( $180^\circ$ tik  $360^\circ$ ra). Bini eta Carpes (2014)tik hartua.

Pedal-indarraren norabidearen azterketak pedal-teknika ebaluatzeko balio du. Izan ere, pedal-indarraren osagirik handiena bielarekiko norabide tangenzialean aplikatzen bada, hau da eraginkorra bada, pedal-kolpea eta, beraz, teknika eraginkorra dela adieraziko du. Pedal-indarraren eraginkortasuna indar eraginkorraren eta pedalean aplikatutako guztizko indarraren arteko erlazioa aztertzen duen formula matematiko (3. Irudia) baten bitartez neurtu daiteke (LaFortune eta Cavanagh, 1987, Bini eta Rossaton, 2014, zitatua).

$$IE = \frac{\int_0^{360} EF dt}{\int_0^{360} TF dt}$$

*3. Irudia. Pedal-kolpearen eraginkortasun indizea (IE) pedal-kolpearen ziklo batean zehar aplikatutako indar eraginkorra (EF) eta guztira aplikatutako indarraren (TF) arteko ratioa da. Bini eta Carpes (2014)tik hartua.*

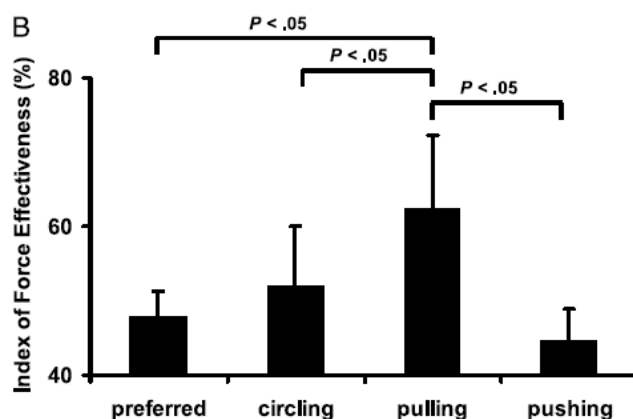
Pedal-kolpearen ziklo osoaren eraginkortasun indizeak pedal-kolpearen eraginkortasun orokorraren inguruko informazioa ematen digu . Fase bakoitzaren (beherakorra eta gorakorra) eraginkortasun indizea banatuta neurtuta pedal-kolpearen azterketa sakonagoa egin daiteke eta teknikaren inguruko informazio zehatzagoa jasotzen da. Txirrindulariek indar handiagoa aplikatzen dute eta eraginkortasun handiagoa erakutsi ohi dute fase beherakorrean (fase propultsiboa), pedala beherantz bultzatzen dutelako. Fase gorakorrean (berreskuratze edo trakzio fasea) aldiz, eraginkortasuna negatiboa izan ohi da. Nahiz eta indarra bielarekiko norabide elkarzutekoa izan, indar negatiboa txirrindulariaren propultsioa kaltetu dezake bielaren mugimenduaren kontrako noranzkoa duelako. Pedal-kolpean zehar, hanka batekin pedal-kolpearen beheranzko fasea burutzen den bitartean beste hankarekin goranzko fasea ez bada ongi koordinatzen ematen da gertakari hau (Duc eta lank., 2019; Bini eta Rossato, 2014).

Eraginkortasun indize orokorra eta errendimendua hobetze aldera fase gorakorraren eraginkortasun negatiboa gutxitu beharko litzatekeela pentsatzea zentzuzkoa da. Hala ere, batez besteko eraginkortasuna hobetzeko fase gorakorraren eraginkortasun negatiboa gutxitu beharko litzatekeen ez dago guztiz argi. Izan ere, goranzko fasean txirrindulariek gutxitan aplikatzen dute indarra norabide optimoan. Honen arrazoia, txirrindularia indarra aplikatzen efizientea izateko, hau da indarra eraginkorra aplikatzea energia kostu ahalik eta baxuenarekin, beste faktore batzuk aintzat hartu behar direla da, giharren erreklutamendua adibidez. Pedala-kolpearen fase gorakorrean indarra aktiboki aplikatzean belauneko eta aldakako gihar flexoreen erreklutamendu handia ematen dela, eta honek

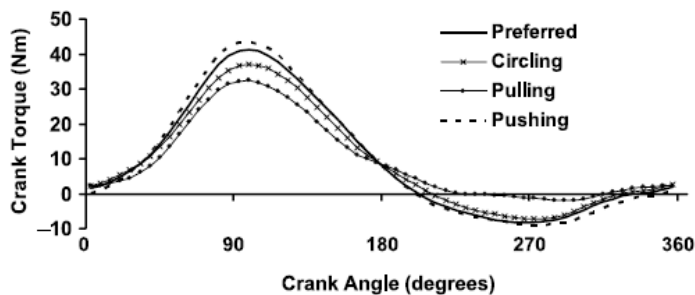


energia kostu handia eskatzen duela gehien onartutako hipotesia da, nahiz eta iritzi kontrajarriak dauden (Duc eta lank., 2019; Bini eta Rossato, 2014).

Pedal-indarra pedal-kolpean zehar modu desberdinetan aplikatzen saiatuz gero, pedal-kolpe egiteko lau era edo teknika deskribatu daitezke (Duc eta lank., 2019; Korff eta lank., 2007), norberak hautatutako teknikarik gogokoena, teknika zirkularra, trakzio teknika eta bultzatze teknika. Norberak hautatutako teknikarik gogokoena, txirrindulariak ohartu gabe libreki hautatzen duen teknika da, teknika honetan indar eraginkor negatiboa sortu ohi da fase gorakorrean. Teknika zirkularra, pedalaren indar eraginkorra pedal-kolpearen ziklo osoan zehar ahalik eta handiena aplikatzean datza. Indar eraginkorra handitzeko pedalari propulzio eta trakzio indarrak aplikatzen zaizkio, eta pedal-kolpearen fase beherakorraren eta gorakorraren arteko trantsizio leuna egitean datza. Modu honetan, pedal-kolpearen goiko eta beheko puntu hiletan indar eraginkorra handitzea eta indar-momentua pedal-kolpearen ziklo osoan zehar banatzea bilatzen da. Goiko eta beheko puntu hiletan indar eraginkorra aplikatu ahal izateko indarra norabide horizontalean aplikatu behar da, eta honetarako, orkatilak funtzio garrantzitsua betetzen du. Trakzio teknika, fase gorakor edo trakzio fasean pedalari goraka tira egiteko arreta jartzean datza. Teknika honekin fase gorakorreko indar negatiboa ia guztiz desagertzen da, hori dela eta eraginkortasun indize orkor altuagoa lortzen da teknika honen bidez (4. Irudia). Azkenik, bultzatze-teknika, belaunaren estentsioaren bidez pedal-kolpearen beheranzko fasean indarra handitzean oinarritzen da. Bultzatze teknikan txirrindularia pedal-kolpearen beheranzko fasean indarra aplikatzen arreta jartzen du, pedala beherantza bultzatuz. Teknika hau erabilia, beheranzko fasearen torkea positiboagoa eta goranzko fasea negatiboagoa bihurtzen da. Hala ere, pedal-kolpearen zikloaren eraginkortasun indizean ez da aldaketa nabarmenik ematen, fase negatiboagoa fase positiboagoarekin orekatzen baita (5. Irudia).



4. Irudia. Teknikak (norberak hautatutako teknikarik gogokoena (preferred), teknika zirkularra (circling), trakzio teknika (pulling) eta bultzatze teknika (pushing)) indar eraginkortasun indizean (Index of Force Effectiveness) duen eragina. Korff eta lank. (2007)tik hartua.



5. Irudia. Teknikaren (norberak hautatutako teknikarik gogokoena (preferred), teknika zirkularra (circling), trakzio teknika (pulling) eta bultzatze teknika (pushing)) araberako pedalaeren torkearen (Crank Torque) profila. Korff eta lank. (2007)tik hartua.

Errendimendua hobetzeko teknika hobetu beharko litzatekeela pentsatzea zentzuzkoa da. Hala ere, pedal-indarraren eraginkortasuna handitzeko teknika aldatzean efizientzia gutxitzen dela ikusi zen, baita pedal-eraginkortasun hobea zuten txirrindulariek ez zutela errendimendu hobea ematen ere. Ondorioz, ez du ematen pedal-indarraren eraginkortasuna handituz errendimendua handitu daitekeenik (Bini eta Rossato, 2014).

## Pedal-indar eraginkortasunean eragiten duten faktoreak

Bini eta Rossatok (2014) pedal-indarraren eraginkortasunean eta pedal-kolpearen teknikan eragiten duten bost aldagai nagusi identifikatu zituzten: lankargaren maila, pedal-kolpearen kadentzia, bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa, nekearen maila eta txirrindulariaren trebetasuna edo esperientzia.

Fisikan, lana indarra aplikatzen denean gorputz edo objektu bat desplazatzeko energia kantitatea da. Lankarga, txirrindularitzan, txirrindulariaren desplazamendua eragiteko behar den energia kantitatea da. Modu honetan, lankarga handitzean txirrindulariak indar gehiago aplikatzen du eta azkarrago mugituko da. Txirrindularitzan jardueraren intentsitatea sortutako potentziaren bidez neurtzen da, eta potentzia denbora unitateko egindako lana da. Era berean potentzia mekanikoa objektu batean aplikatutako indarra bere abiadurarekin biderkatuz lortzen da. Hortaz, lankargaren mailak pedalean eragiten den indarretan eragiten du.

Lankarga maila handitzean indar eskakizun handiagoei erantzuteko pedal-indarraren aplikazioan aldaketak sortzen dira. Esaterako indar normala eta aurre-atzekoa handitzen da. Baita ere, aurre-atzeko indarraren norabidea aldatzen da, txirrindulariak atzera eta gora gehiago tiratzen duelako (Bini eta Rossato, 2014).

Pedal-kolpearen kadentziak pedalararen eta bielaren abiadura angeluarrari egiten dio erreferentzia, eta minutu batean ematen diren pedal-kolpe ziklo osoen kopuruaren bitartez neurtzen da. Kadentziaren aldaketak pedal-indarrean duen eragina argia ez bada ere, kadentzia handitzeak potentzia jakin batentzako pedal-kolpean eragiten den pedal-indarraren aplikazioa eta indar eraginkortasuna gutxitzen duela esan daiteke (Bini eta Rossato, 2014).

Txirrindulariak bere bizikletarekin bat egiten duen heinean bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa bizikletaren eta bere osagaien neurriek eta osagaien konfigurazioak baldintzatuko du. Hain zuzen ere, zela, pedalak eta eskulekuaren konfigurazioak txirrindulariaren posizioa zehaztuko du, kontaktua bizikletaren hiru osagai hauetan ematen delako. Osagai hauetan ematen diren aldaketek giltzaduren mugimenduan eta, ondorioz, giharren aktibazioan eragingo dute. Hori dela eta, osagai hauen konfigurazio aldaketek pedal-indarraren aplikazioan ere eragina dutela pentsa daiteke. Hala ere, gorputzaren posizioak pedal-indarraren eraginkortasunean ez zen efektu argirik ikusi. Gertaera honen azalpena sistema neuromuskularrak beheko gorputz adarraren erreklutamendua berrantolatzen duela da. Horregatik zelaren altuera aldatzeak zein aurrera edo atzera mugitzeak ez du pedal-indarrean aldaketa nabarmenik sortzen, nahiz eta giharren aktibazioan aldaketak eman. Bestalde, gorputzaren goiko zatia jarrera aurreratutakoan izateak pedal-kolpearen fase gorakorren trakzio-indarrak gutxitzen ditu, aldakako gihar flexoreen aktibazioa gutxitzearen ondorioz (Bini eta Rossato, 2014).

Nekearen mailarekin antzeko zerbait gertatzen da, gihar aktibazioan aldaketak ematen dira indar eraginkortasuna berdintsua mantentzen den bitartean. Nekea handitzen doan heinean pedal-kolpean parte hartzen duten gihar nagusien aktibazioa handitzen da, eta orkatilaren mugimenduaren anplitudea handitzen da potentzia mantendu ahal izateko. Konpentsazio mekanismo hauen ondorioz pedal-indarraren eraginkortasun indizean aldaketa gutxi ematen dira, nahiz eta nekea handituz doan heinean behera eta atzerako norabidea duten indarrak handitu eta goranzko indarrak gutxitzen diren. Beste hitz batzuetan esanda, fase beherakorrean aplikatutako indarra fase gorakorrean aplikatutakoa baino handiagoa denez fase gorakor negatiboagoa fase beherakor positiboagoarekin konpentsatzen da (Bini eta Rossato, 2014).

Txirrindulariaren trebetasuna pedalarari aplikatutako indar gehiena desplazamendua eragingo duen indar eraginkorrean bihurtzeko gaitasunarekin lotzen da. Txirrindulari trebeagoek eraginkortasun indize hobea, giharren koaktibazio txikiagoa eta aldakako eta belauneko indar-momentu handiagoa erakusten dute. Txirrindulari trebeek teknika hobea dute beraz (Bini eta Rossato, 2014).

Txirrindulariek pedal-kolpearen fase beherakorrean zein gorakorrean indarra aplikatzen dutela behatu da. Hala ere, fase beherakorrean aplikatutako indarra gorakorrean aplikatutakoa baino handiagoa da, batez ere nekea handitzen den heinean. Hori dela eta, iritzi desberdinak daude pedal kolpearen ziklo osoan zehar batez besteko eraginkortasuna areagotzeko trakzio indarrak (fase gorakorrean) gutxitu beharko liratekeen inguruan, nahiz eta, errendimendurako, indar-momentuak eta giltzaduren mugimendua kontutan hartzea garrantzitsuagoa dela ematen duen. Pedal-kolpearen teknika pedalean aplikatutako indarraren eraginkortasunarekin harreman zuzena daukala pentsa daitekeen arren, lotura hau ez da hain argia. Izan ere, entrenatutako txirrindularietan nekeak, kadentziak eta lankargak indar eraginkortasunean efektu gutxi eragiten duela ikusi da. Aldiz, txirrindulari desberdinetan giltzaduren indar-momentuan eta mugimenduan aldaketak ikusi dira, baita giharren koordinazioan ere. Honek errendimenduaren ikuspuntutik pedal-teknika aztertzeko indar-eraginkortasunarekin batera beste aldagai garrantzitsuak kontutan izan behar direla erakusten du (Bini eta Rossato, 2014).

## METODOLOGIA

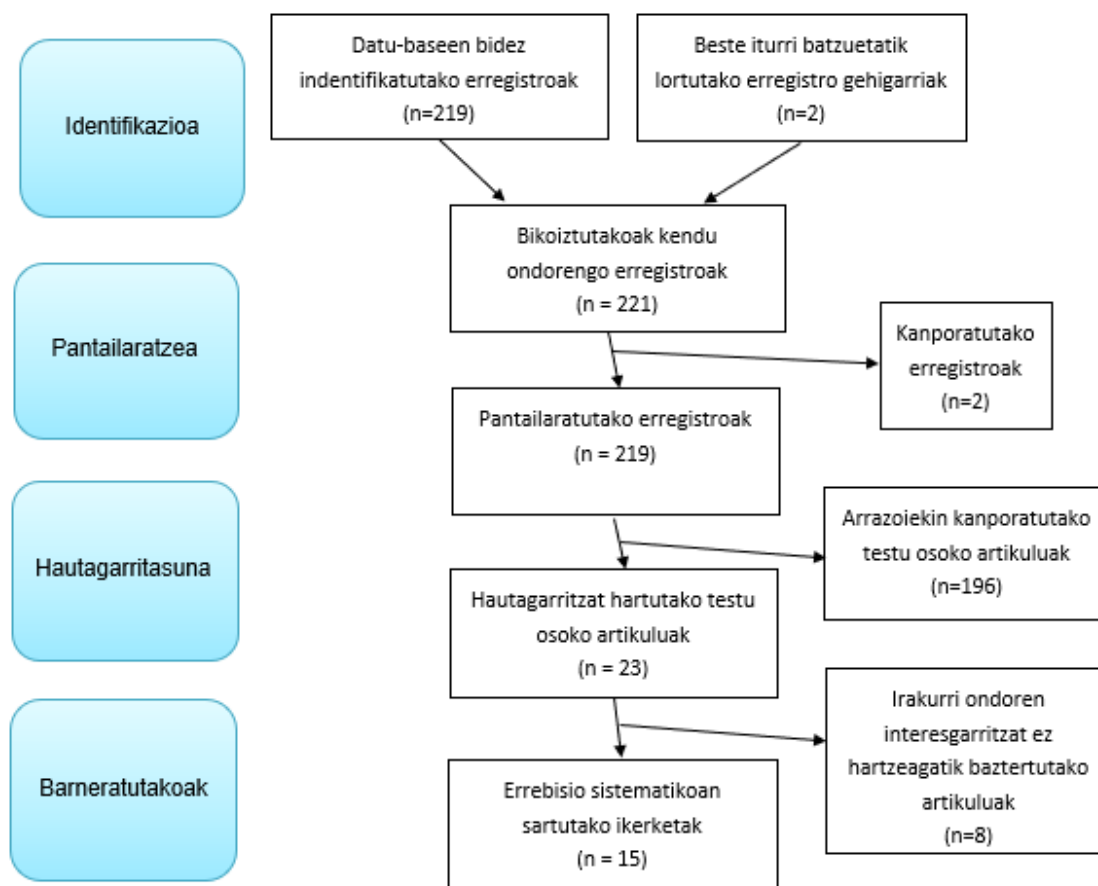
Literatura zientifikoaren bilaketa egin zen 2021eko otsailaren 11an, PubMed, ScienceDirect eta Journal of Science & Cycling datu-baseetan. Errebisioa sistematikoan sartzeko irizpideak betetzen zituzten artikulu kopurua handitzeko asmoz Scopus datu basean ere bilaketa egin zen 2021eko apirilaren 13an.

Bilaketa egiteko erabili ditugun hitz klabeak (MeSH) honakoak izan dira: "pedal force", "cycling", "bicycling", "pedaling", "pedaling", eta "torque". Bilaketa operadore Booleanoak (AND, OR) erabiliz egin zen, era honetan: "pedal force" (cycling OR bicycling OR pedaling OR pedalling), PubMed, ScienceDirect, eta Journal of Science & Cycling datu basean. Scopus datu basean bilaketa hitz klabe hauek era honetan idatziz egin zen: "cycling" AND "torque" AND "pedaling". Bilaketa ingelesez egin zen kalitate handiagoko artikuluak eskuratzeko eta artikulu kopuru handiago baten artean aukeratzeko. Bilaketa 2014tik aurrera (2014 urtea barne) argitaratutako artikuluak kontuan hartuz egin zen.

Artikuluak aukeratzeko orduan hainbat barneratze eta kanporatze irizpide jarraitu dira, ahalik eta bilaketa zehatzena egiteko helburuarekin. Barneratze irizpideak, alde batetik bilaketa egiteko erabilitako hitz klabeak, eta bestetik, "effectiveness", "performance" eta "road cycling" hitz klabeak izenburuan edo testuan agertzea izan zen. Baita ere, barneratze irizpide garrantzitsua artikuluak Bini

eta Rossatok (2014) pedal-indarraren eraginkortasunean eta teknikan eragiten duten bost faktoreei (lankargaren maila, pedal-kolpearen kadentzia, bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa, nekearen maila eta txirrindulariaren trebetasuna edo esperientzia) buruzkoak izatea izan zen. Beste barneratze irizpideak artikuluetako subjeten ingurukoak izan ziren. Alde batetik, errebisio sistematikoan sartutako ikerketetako partaideak errepideko txirrindulariak edo triatletak izan ziren. Eta bestetik, errebisio sistematikoan sartutako ikerketako partaideak maila desberdinetako txirrindulari osasuntsuak, hots, lesiorik ez zuten aisialdi mailako txirrindulariak, eskualde mailako edo klub mailako txirrindulariak, txirrindulari eliteak eta txirrindulari profesionalak, eta txirrindulariak ez ziren pertsona aktibo eta osasuntsuak izan ziren. Baita ere, errebisioan gizonak zein emakumeak partaidetzat zituzten ikerketak barneratu ziren. Kanporatze irizpideak testu osoa eskuragarri ez izatea, aipatutako hitz klabeak izenburuan zein testuan ez agertzea, artikulua txirrindularitzako pedal-indarraren ingurukoak ez izatea, artikulua 2014 urtea baino lehenago publikatutakoak izatea eta artikuluetako partaideak errepideko txirrindulariak edo pertsona aktiboak ez izatea edo lesionatutako partaideak izatea izan ziren.

Datu base desberdinetan hitz klabeak sartzera honako artikuluko kopuru hau identifikatu zen: Pubmeden 25, ScienceDirecten 138, Journal of Science & Cyclingen 10 eta Scopusen 46. Snowball teknika erabilia beste iturri batzuetatik 2 artikulua identifikatu ziren. Bikoiztutako artikulua eta barneratze irizpideak betetzen ez zituzte artikulua kendu ondoren, testu osoa eskuragarria zuten 23 artikulua errebisio sistematikorako hautagarritzat jo ziren. Azkenik, artikulua hautagarri guztiak irakurri ondoren interesgarriak ez zirelako 8 artikulua baztertu ziren, eta errebisio sistematikoan 15 artikulua barneratu ziren (6. Irudia).



6. Irudia. Bilatze metodoaren fluxu diagrama.

## EMAITZAK

Bini eta Rossatok 2014an publikatutako errebisioan lankargaren maila, pedal-kolpearen kadentzia, bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa, nekearen maila eta txirringulariaren trebetasun edo esperientzia pedal-indarrean eta pedal-kolpearen teknikan eragiten zuten aldagai nagusitzat hartu zituzten.

### Lankargaren maila

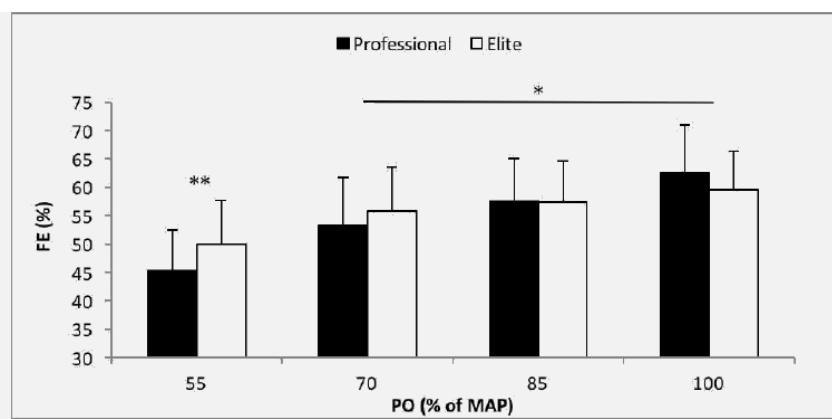
Lankarga igotzerakoan pedal-kolpearen fase beherakorraren torkea handitzen da eta fase gorakorren indar negatiboa txikitzen da (1. Taula). Fase gorakorrean indar negatiboa txikitzerakoan hanka kontralateralak egin beharreko lana gutxitzen da. Hortaz, pedalarari aplikatzen zaion indar maximoa eta indar eraginkorra handitzen da (García-Lopez, 2016).

1. Taula. Txirrindulari profesional (UCI ProTour mailakoak), elite (UCI Continental) eta klub mailakoen torke balioak potentzia desberdinetan. García-Lopez (2016)tik hartua.

		Professionals (n = 11)	Elite (n = 13)	Club (n = 14)	All cyclists (n = 38)
200 W	Maximum torque (N · m)	44.5 ± 3.2	47.6 ± 3.6*	47.2 ± 3.4*	46.7 ± 3.7
	Minimum torque (N · m)	-10.4 ± 2.2	-12.3 ± 2.5	-13.2 ± 3.0*	-12.1 ± 2.8
	PIP (%)	82.0 ± 2.4	80.5 ± 2.6	80.0 ± 2.8	80.7 ± 2.7
250 W	Maximum torque (N · m)	51.2 ± 4.1	54.0 ± 4.6	54.5 ± 3.0*	53.4 ± 4.1#
	Minimum torque (N · m)	-9.0 ± 2.1	-11.3 ± 2.5*	-12.0 ± 2.5*	-10.9 ± 2.6#
	PIP (%)	86.5 ± 2.3	84.3 ± 2.5*	84.1 ± 2.6*	84.9 ± 2.6#
300 W	Maximum torque (N · m)	57.2 ± 4.4	58.7 ± 4.5	60.0 ± 2.9	58.7 ± 4.0#&
	Minimum torque (N · m)	-7.7 ± 2.1	-9.5 ± 2.7 <sup>†</sup> *	-11.0 ± 1.9*	-9.5 ± 2.6#&
	PIP (%)	90.9 ± 2.8	88.2 ± 2.9*	87.4 ± 2.1*	88.7 ± 3.0#&
Mean	Maximum torque (N · m)	51.0 ± 6.5	53.3 ± 6.2	53.9 ± 6.0*	58.7 ± 4.0
	Minimum torque (N · m)	-9.1 ± 2.4	-11.0 ± 2.8 <sup>†</sup> *	-12.1 ± 2.6*	-9.5 ± 2.6
	PIP (%)	86.5 ± 4.5	84.3 ± 4.1*	83.7 ± 3.9*	88.7 ± 3.0

PIP: positive impulse proportion. Significant differences ( $P < 0.05$ ): \*With professional cyclists and <sup>†</sup>Elite versus club cyclists. Significant differences ( $P < 0.001$ ) with 200 W (#) and 250 W (&).

Bouillod eta lank.-ek (2017) ere potentzia ekoizpena handitzean indar eraginkortasuna handitzen zela ikusi zuten, elite mailako zein txirrindulari profesionaletan. Lankarga potentzia aerobiko maximoaren %55tik %100era pasatzean indar eraginkortasuna %26,4 handitu zen, eta pedal-kolpearen fase gorakorreko indar negatiboa %15,8tik %5era murriztu zen (7. Irudia). Ondorioz, indar eraginkortasunaren hobekuntza pedal kolpearen fase gorakorren indar negatiboaren murrizketarengaitik eman zela ondorioztatzen da. Honekin kontrajarriz, Lanferdini eta lank.-ek (2016) eraginkortasun indizean ez zuten aldaketa esanguratsurik egon intentsitatea aldatzean. Are gehiago, intentsitate submaximotik maximora igotzean indar eraginkortasun indizea %1 murriztu zen. Ikerketa horretan 11 txirrindulari eta 9 triatleten pedal-kolpea bigarren arnas-atalaseko potentzian eta potentzia aerobiko maximoan alderatu zuten. Honetarako, test gorakor baten bitartez bigarren arnas-atalaseko potentzia eta potentzia aerobiko maximoa zehaztu ondoren, potentzia bakoitzean 90 pedal-kolpe/min-ko kadentzian minutu batez aritu ziren. Intentsitatea potentzia aerobiko maximotik bigarren arnaseko-atalaseko potentziara jeistean indar erresultantearen eta indar eraginkorraren murrizketa esanguratsua ikusi zen. Eraginkortasun indizean, berriz, ez zen aldaketa esanguratsurik egon intentsitatea aldatzean.



7. Irudia. Potentzia ekoizpenaren (PO, potentzia aerobiko maximoaren (MAP)) %aren eragina indar eraginkortasunean (FE) txirrindulari profesionaletan eta elite mailako txirrindularietan. Bouillod eta lank. (2017)tik hartua.

Baita Skovereng eta lank.-ek (2020) ere lankarga igotzean pedalarren torke maximoa igotzen zela ikusi zuten. Haien ikerketan 9 txirrindulari profesional 9 aisialdi mailako txirrindulari alderatu zituzten, eta txirrindulari profesionalek intentsitatea 200W-ko potentziatik laktato atalaseko (odoleko 4 mmol/l laktato dagoen intentsitatea) potentzia igotzean torke maximoaren handipen handiagoa erakutsi zuten (profesionalek batez beste 16,3Nm-ko handipena eta aisialdikoek 7,1Nm-ko handipena). Era berean, lankarga igotzerakoan pedalarren torke maximoa pedal-kolpearen fase behekorrean zehar lehenago ematen zela aurkitu zuten. Beste era batean esanda, pedala punturik altuenean dagoenean 0°tan badago lankarga igotzerakoan torke maximoaren angelua txikitzen zela ikusi zuten.

## Pedal-kolpearen kadentzia

Pedal-kolpearen kadentzia altuago batek pedal-indar baxuagoak eragiten ditu, eta indar minimo baxuagoak. Antza denez, kadentzia altuagoa eramateak pedal-kolpearen koordinazioa zailtzen du. Honek giharren aktibazioa handitzea eta pedal-kolpearen fase gorakorra oztopatzea eragiten du, eraginkortasuna kaltetuz. Era berean, nekeak kadentzia murriztea eragiten du (Bobbert eta lank., 2016; Verma eta lank., 2016; Dorel eta lank., 2010).

Bobbert eta lank.-ek (2016) gizakiaren beheko gorputz adarraren simulazio modelo baten bidez kadentzia eta pedal-indarraren arteko erlazioa aztertu zuten. Kadentziaren eta pedal-indarraren arteko erlazioak joera linearra duela ondorioztatu zuten, eta zenbat eta kadentzia altuagoa izan pedal-indarra murriztu egiten dela. Kadentzia altuetan, 100-150 pedal-kolpe/min bitartean, giharrek sor dezaketena baino askoz indar gutxiago aplikatzen zaio pedalarri. Hain zuzen ere, 140 pedal-kolpe/min-eko kadentziatik gora, pedalarri aplikatutako indar eraginkorra kadentzia baxuenean (30 pedal-



kolpe/min) lortzen den indar eraginkor balio maximoaren %70 baino gutxiagokoa, eta batez besteko indar eraginkor maximoaren %60 ingurukoa da. Eraginkortasunari dagokionez indar aplikazioa optimoa izan dadin giharren aktibazioa eta desaktibazioa era koordinatuan eman behar da. Uzkurketaren ondorengo giharraren desaktibazio eta erlaxazio prozesua nahiko geldoa da, beraz, giharra luzatzen hasi baino lehen desaktibatu behar da. Gertaera honengatik, pedal-kolpea koordinatzeko zailtasuna dela-eta, kadentzia igotzen den heinean pedal-indarra jeisten dela interpretatzen da (Bobbert eta lank., 2016).

Indar eraginkorrari erreparatzen badiogu, antzerako zerbait gertatzen da, kadentzia igotzen doan heinean eraginkortasuna gutxitzen baita. Esfortzu maximo labur batean, hau da, esprint batean, indar eraginkortasuna batez beste 0,8koa izan ohi da 50 pedal-kolpe/min inguruko kadentzian eta batez beste 0,5ekoa 150 pedal-kolpe/min inguruan (Dorel eta lank., 2010). Pedal-kolpearen fase behekorrean (pedala 30° eta 150° bitartean aurkitzen denean) 0,8 inguruko balioak aurkitu dira kadentzia tarte horretan (Bobbert eta lank., 2016; Dorel eta lank., 2010). Bestalde, pedalei eragitean batez besteko potentziarik altuena 116 pedal-kolpe/min inguruko kadentzian lortu zen (Bobbert eta lank., 2016). Mundu mailako txirrindulari abiaduralarrietan, aldiz, potentziarik altuena 130 pedal-kolpe/min inguruko kadentzian lortzen da, batez beste 19,3w/kg-ko potentzia erakusten dutelarik (Dorel eta lank., 2005).

## Bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa

Txirrindularia eta bizikletaren arteko kontaktua hiru puntutan ematen da: pedalak, zela eta eskulekua. Hiru puntu hauen konfigurazioak txirrindulariak bizikletaren gainean hartzen duen posizioa zehaztuko du. Era berean, zela-tutuaren luzerak, bielen luzerak, koadroaren barra horizontalaren luzerak eta eskulekuko potentziak hiru puntu hauen konfigurazioa zehaztuko du (Bini eta Carpes, 2014; Fonda eta Sarabon, 2010; de Vey Mestdagh, 1998; Wozniak Timmer, 1991; Too, 1990). Modu honetan, eserlekuaren altuerak eragindako aldaketak gorputzaren posizioan giharren aktibazioan eta pedal-kolpean eragin dezake. Hala ere, ez du ematen pedal-indarrean eragiten duenik, antza denez pedal-indar berdintsua mantentzeko giltzaduren zinematikan eta giharren aktibazioan egokitzapenak ematen direlako. Dena den, zelako posizioa dagokiona baino aurrerago eramatea, pedal-zikloan zehar indar eraginkor maximoa ematen den unea nabarmen beranduago ematea eragiten du. Aldiz, dagokiona baino altuago eramateak kontrakoa eragiten du, indar eraginkor maximoa ematen den unea aurreratzea alegia. Baita ere, fase gorakorrean indar eraginkor minimoa ez da hain negatiboa, hau da, handiagoa da zela gora eta aurrera eramatean. Azkenik, zela aurreratuago kokatzean indar eraginkor minimoa ematen den unea atzeratu egiten da. Honen azalpena, zela-tutuaren angelu

handiagoarekin hanka pedal-kolpearen fase gorakorrean jasotzea errazagoa izan daitekeela da (Verma eta lank., 2016). Beraz, zelaren altuera igotzean fase gorakorren indar negatiboa gutxitu bada pedal-indarraren eraginkortasuna handitzen dela esan daiteke. Honekin bat etorriz, Bini eta lank.-en (2014b) ikerketan txirrindulari batzuei zela norberak aukeratutakoa baino %5 altuago kokatzean eraginkortasun indizea %7 igo zela ikusi zen. Beraz, ikerketa honen arabera zelaren altuera optimoa txirrindulariek aukeratutakoa baino %5 altuagoa izango litzateke.

Bini eta lank.-ek (2014a) zelaren posizioa aldatu beharrean, txirrindulariak zelaren gainean har ditzakeen posizio desberdinen eragina aztertu zuten. Izan ere, txirrindulariek zelaren gaineko posizioa aldatzen dute lasterketan ematen diren egoera desberdinen arabera (aldapan gora adibidez). Aztertutako posizioak norberak hautatutako gustokoena, posizio aurreratuagoa (5cm txirrindularietan (n=12) eta 6cm triatletetan (n=9)) eta posizio atzeratuagoa (5cm txirrindularietan eta 3cm triatletetan) izan ziren. Posizio desberdinen artean pedalean guztira aplikatutako indarrean ezta eraginkortasun indizean ez zuten desberdintasun esanguratsurik aurkitu.

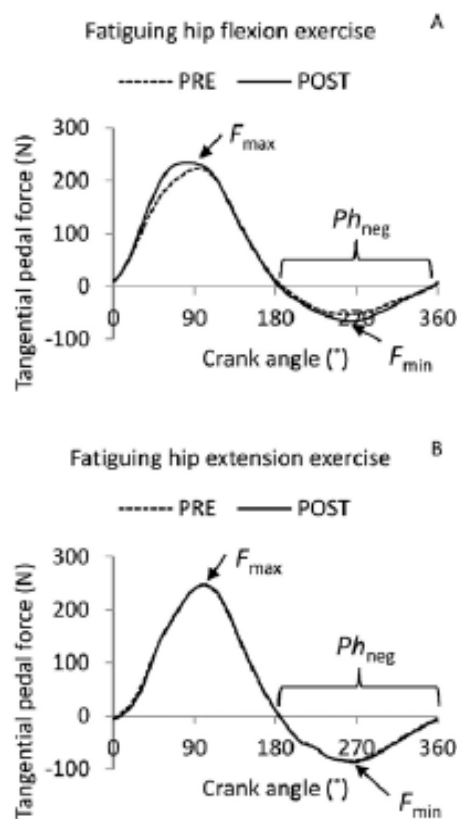
Txirrindulariek zelaren gainean eserita har dezaketen posizio aurreratuago edo atzeratuagoaz gain, zutik ere joan daitezke. Chen eta lank.-ek (2016) 12 txirrindulari osasuntsu zikloergometroan aztertu zituzten eta eseritako posizioarekin alderatuz zutik pedal-kolpearen torke maximoa handiagoa zela behatu zuten.

Azkenik, txirrindulariak bizikletaren gainean duen posizioa aldatzeko beste modu bat eskulekua leku desberdinetatik eustea da. Errepideko bizikletaren eskulekua hiru tokitatik eutsi daiteke: goitik, balaztaren heldulekuetatik edo behetik. Eskulekuko posizioak pedalaren indar-momentuan zein giltzaduren potentzian eragin txikia dauka. Dena den, goiko posiziotik beheko posiziora aldatzean torke maximoaren handitze txikia ikus daiteke, baina ez ordea torke maximoa emateko unean. Eskulekuaren posizioa goitik behera aldatzeak pedal-indarrean eragin txikia dauka txirrindulari profesional zein aisialdiko txirrindularietan beraz (Skovereng eta lank., 2020).

## Nekearen maila

Nekearekin giharren aktibazioan potentzia-maila mantendu ahal izateko konpentsazio mekanismoak ematen direla ikusi da (Bini eta Rossato, 2014). Aldakako gihar hedatzaileak eta tolestatzaileak pedal-kolpean funtzio garrantzitsua burutzen dute, Hansen eta lank.-ek (2014) aldakako gihar hedatzaileak saio batean eta beste saio batean aldakako gihar tolestatzaileak indar ariketa batzuen bidez espezifikoki nekatu ondoren pedal-indar eraginkorrean ematen zen eragina azteru zuten. Norberak

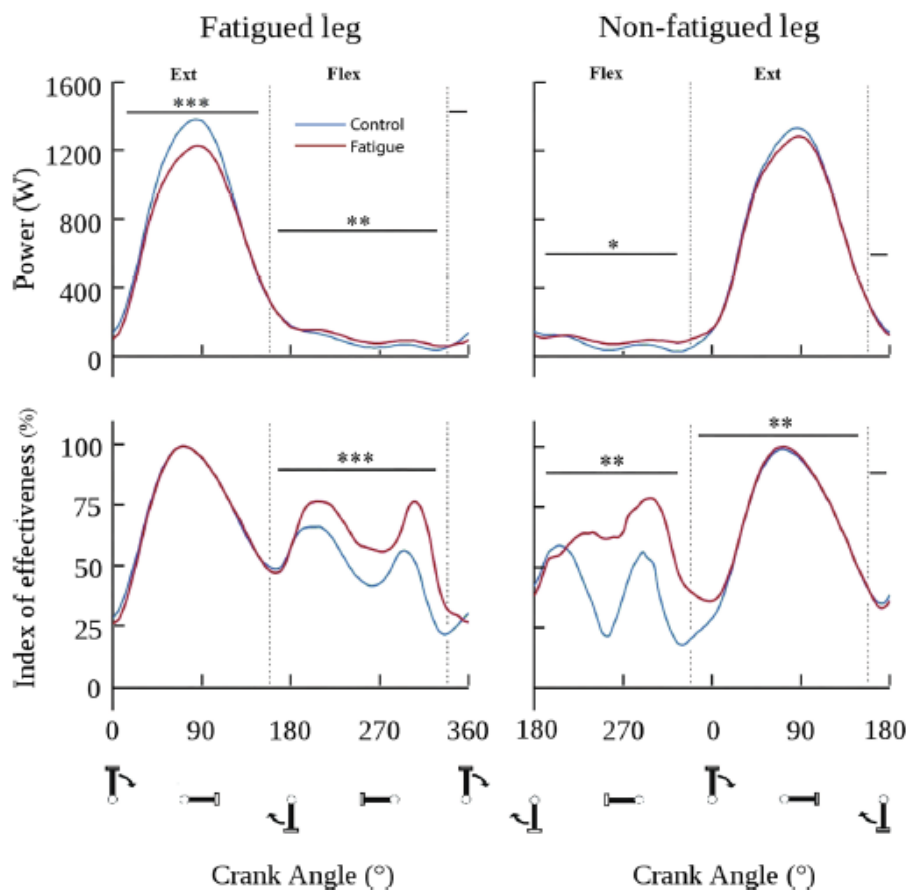
hautatutako kadentzian (batez beste 73 pedal-kolpe/min) neke ariketek ez zuten eraginik izan pedal-indarrean. Aldiz, 60 pedal-kolpe/min-ko kadentzian pedal-indarrean aldaketak ikusi ziren. Aldakako tolestatzaileak nekatu ondoren behatutako aldaketak indar eraginkor maximoa handitu zela, indar eraginkor negatiboa are negatiboagoa izan zela, eta pedal-kolpearen fase gorakorra luzeagoa izan zela izan ziren. Bestalde, hedatzaileak nekatu ondoren indar eraginkor maximoa ematen den unea lehenago eman zen pedal-kolpean zehar. Aipatu behar da ikerketako partaideak (n=9, 8 gizon eta emakume bat) bizikleta garraiorako zein aisirako erabiltzen zuten pertsona aktiboak zirela.



8. Irudia. Pedal-indar eraginkorraren (tangential pedal force) profila, aldakako flexio ariketa nekagarriak (fatiguing hip flexion exercise, A) eta aldakako estentsio ariketa nekagarriak (fatiguing hip extension, B) egin aurretik (PRE) eta egin ondoren (POST). Kadentzia 60 pedal-kolpe/min-koa eta potentzia 100W-koa da. Pedal-kolpearen ziklo osoko indar eraginkor maximoa ( $F_{max}$ ), indar eraginkor minimoa ( $F_{min}$ ) eta fase negatiboa ( $Ph_{neg}$ ) adierazten dira. Hansen eta lank. (2014)tik hartua.

Brøchner eta lank.-en (2018) ikerketa berriago batean ere, txirrindulariak ez ziren pertsona osasuntsuak (n=15) aztertu zituzten. Ikerketa honetan, pedal-kolpearen indar aplikazioan parte hartzen den beste gihar garrantzitsu baten, kuadrizepsaren, neke selektiboak eragiten dituen konpentsazio mekanismoak aztertu zituzten. Pedal-kolpean parte hartzen duten giharren aktibazioa eta koordinazioa, indar aplikazioa eta eraginkortasun mekanikoan zuen eragina ikertu zuten, hain zuzen ere. Partaideak minutu bateko esfortzu submaximoa eta 5 segunduko esprina egiten aztertu zituzten, kuadrizepsa aparatu isozinetiko baten laguntzaz selektiboki nekatu ondoren. Kuadrizepsaren

nekearen ondoriozko partaideen potentzia ekoizpen murrizketa esanguratsua izan zen 5 segunduko esprinean. Gihar estentsoreen potentzia ekoizpena murriztu zen nekearen ondorioz, flexoreen potentzia ekoizpena handitu zen bitartean. Kuadrizepsaren nekearekin pedal-kolpearen ziklo osoaren indar eraginkortasuna handitu zela behatu zen, fase beherakorraren indar eraginkortasuna antzekoa mantendu zen bitartean fase gorakorraren eraginkortasun indizea handitu zelako.



9. Irudia. Pedal potentziaren (power) eta eraginkortasun indizearen (index of effectiveness) batez besteko profila pedal-kolpearen ziklo oso batean zehar, bielaren angeluaren (crank angle) arabera. Kuadrizepsa selektiboki nekatu ondoren, nekatutako hankaren (fatiged leg) eta nekatu gabeko hankaren (non fatiged leg) arteko konparaketa egiten da. Bröchner eta lank. (2018)tik hartua.

## Txirrindulariaren trebetasuna edo esperientzia

Txirrindulariaren trebetasuna eta esperientzia pedalari indar eraginkorra aplikatzeko gaitasunarekin, eta ondorioz teknikarekin, lotzen da (Bini eta Rossato, 2014). Txirrindulariaren arabera, lankarga berdinean pedal-indar aplikazioa desberdina eman daiteke, hein batean txirrindulariaren pedalei eragiteko teknikaren arabera (Lanferdini eta lank., 2016). Era berean, txirrindulariaren trebetasunak eta esperientziak teknikan eragiten duela pentsa daiteke, pedal-kolpearen koordinazioaren

hobekuntzaren ondorioz. Teknikan desberdintasunak aurkitu dira UCI ProTour, UCI Continental eta klub mailako txirrindularien artean. Txirrindulari profesionalak (UCI ProTour mailakoak), eliteak (UCI Continental) eta klub mailakoak baino teknika hobea daukate, bultzada indar (positiboa) txikiagoa (%1,5 eta %3,3 bitartean) behar dutelako potentzia berdinean (1. Taula). Txirrindulari profesionalak pedal-kolpearen fase gorakorrean indar negatibo txikiagoa (%15,4 eta %28,7 bitartean) sortzen dutelako (1. Taula) gertatzen da. Beste era batean esanda, txirrindulari profesionalak fase gorakorrean trakzio indar handiagoa eragiten dute eta eraginkortasun handiagoa erakusten dute. Desberdintasun hauek txirrindularitza praktikatzeko emandako urteen eta espezializazio mailaren arabera direla ondorioztatu da, entrenamenduko kilometro kopurua baino (García-Lopez, 2016). Alabaina, Bouillod eta lank.-ek (2017) indar eraginkortasuna txirrindulariaren maila lehiakorrarekiko menpekota ez zela aurkitu zuten. Dena den, potentzia ekoizpena handitzerakoan, indar eraginkortasunaren gehikuntza handiagoa izan zen maila altuagoko txirrindularietan, profesionaletan elitekoekin konparatuz, %36,1 handiagoa hain zuzen ere. Hau da, potentzia ekoizpena igotzen den heinean maila altuagoko txirrindulariek indar eraginkortasunaren hobekuntza azkarragoa dute. Indar eraginkortasuna hobetzen dute batik bat fase gorakorrean indar negatiboa gutxitzen dutelako. Honen ondorioz, txirrindulari profesionalak potentzia altuetan teknika optimoagoa dutela pentsa daiteke.

## EZTABAIDA

Bini eta Rossatok (2014) lankargaren maila, pedal-kolpearen kadentzia, bizikletaren gaineko gorputzaren posizioa, nekearen maila eta txirrindulariaren trebetasun edo esperientzia pedal-indarrean eta pedal-kolpearen teknikan eragiten zuten aldagai nagusitzat hartu zituzten. Hug eta Dorelek (2009) aipaturako aldagaiez gain pedala eta zapataren arteko elkarrekintza ere pedal-kolpea baldintzatzen duen aldagaitzat hartu zuten. Zapataren eta pedalaren artean txirrindularitik bizikletara indarren transmisioa ematen denez, aldagai garrantzitsua dela uste dugu. Zapata pedalarik lotzen duten pedal automatikoei esker indar eraginkorraren aplikazioa norabide guztietan, pedal-kolpearen fase gorakorrean barne, baimentzen da.

Aztertutako ikerketek Bini eta Rossatok (2014) pedal-indarren inguruan esandakoa berresten dute. Ikerketek lankarga igotzean pedal-kolpearen eraginkortasuna handitzen dela erakusten dute, alde batetik, fase beherakorrean torkea handitzen delako, eta bestetik fase gorakoraren indar negatiboa txikitzen delako (Skovereng eta lank., 2020; Duc eta lank., 2019; Bouillod eta lank., 2017; García-Lopez, 2016; Bini eta Rossato, 2014). Pedal-kolpearen eraginkortasuna handitzean eraginkortasun indizea handitzen dela pentsatu daiteke. Hala ere, nahiz eta pedal-kolpearen eraginkortasuna handitu

eraginkortasun indizea ez da era esanguratsuan aldatzen (Lanferdini eta lank., 2016). Pedal-kolpe osoaren eraginkortasun indize orokorra handitzeko pedala punturik baxuenean aurkitzen denean (180° inguruan) indarra aurretik atzera, norabide horizontalean, aplikatu beharko litzateke. Pedala 180°tan dagoenean grabitatearen indarrarengatik eta inertiarengatik, ez eraginkorra den indar-osagai erradial handia dago. Hala ere, osagai erradial hau grabitatearen ondoriozkoa denez, ez du energia kosturik. Aldiz, indarra norabide horizontalean aplikatzeak inertiaren eta, batez ere, grabitatearen indarra gainditzeko energia kostua eragingo luke. Hori dela-eta, lankarga igoera gainditzeko pedal-indarraren eraginkortasun indize orokorra ez hobetzeak ez luke garrantzi handiegirik izango, baldin eta fase beherakorraren eraginkortasuna handitzen eta fase gorakorraren indar negatiboa txikitzen bada.

Kadentzia handitzea pedal-indarrak txikitzea eta indar eraginkortasuna eta eraginkortasun indizea kaltetzen du (Bobbert eta lank., 2016; Verma eta lank., 2016; Bini eta Rossato, 2014). Hau gertatzen da abiadura eta indarraren arteko erlazioagatik (abiadura handitzean indarra txikitzen da eta alderantziz) eta pedal-kolpean parte hartzen duten giharren koordinazioa zailtzen delako (Bobbert eta lank., 2016).

Gorputz posizioari dagokionez, indar eraginkortasunean ez zuten efektu argirik aurkitu (Skovereng eta lank., 2020; Verma eta lank., 2016; Bini eta lank., 2014a; Bini eta Rossato, 2014). Gorputzaren posizio aldatzeak giltzaduren angeluetan eta giharren luzeran aldaketak eragiten ditu, eta ondorioz giharren aktibazioan eta giltzaduren zinematikan egokitzapenak ematen dira aldaketak konpentsatzeko. Hala ere, ikerketa batean (Bini eta lank., 2014b) zela altuera igotzen pedal-indarraren eraginkortasun indizea igo daitekela ikusi zen. Beharbada, posizio aldaketek egokitzapen mekanismo desberdinak eragiten dituzte txirrindulariaren arabera eta ondorioz pedal-indarrean efektu desberdinak eragiten ditu. Aipatutako ikerketan (Bini eta lank., 2014b), triatletak, txirrindulariekin konparatuta, posizio aldaketei hobeto egokitzen zirela ikusi zen, kirol desberdinak praktikatzan dituztenez gihar luzera desberdinetan indarra aplikatzera ohituta daudelako.

Nekearekin ere egokitzapenak ematen dira pedal-indarraren eraginkortasuna egonkor mantentzeko. Ematen den egokitzapen nagusia fase gorakor negatiboagoa konpentsatzeko fase beherakorrean indar eraginkor maximo altuagoa ematen dela da (Bini eta Rossato, 2014; Hansen eta lank., 2014). Brøchner eta lank.-ek (2018), berriz, kontrako eragina ikusi zuten, hau da, nekearekin fase beherakorraren indar eraginkortasuna ez zela aldatu, fase gorakorraren eraginkortasuna handitu zela, eta pedal-kolpearen eraginkortasun indize orokorra handitu zela ikusi zuten. Dena den, kontutan izan behar da ikerketa horretan kuadrizepsaren neke selektiboa aztertu zela. Ikerketan giharrek indarra aplikatzerakoan pedal-indarraren norabidea eraginkorra izan dadin bielarekiko perpendikularki

orientatzen parte hartzen dutela ondorioztatu zen. Izan ere, pedal-kolpearen fase behekorrean, nekatutako kuadrizepsarekin batera era sinergikoan lan egiterakoan nekatu gabeko gihar iskiotibialen aktibazioa murrizten zela ikusi zen, baina ez ordea fase gorakorrean, kuadrizepsaren aktibazioa oso txikia denean. Arrazoi honengaitik, giharren neke periferikoa agertzen denean pedal-kolpean parte hartzen duten giharren aktibazioan doitze neuromuskularra ematen dela ondorioztatu daiteke.

Esperientzia gehiago duten txirrindulariek pedal-kolpe trebeagoa dute, eta txirrindulari trebeagoak pedal-indarra era eraginkorragoan aplikatzeko gai dira (Bouillod eta lank., 2017; García-Lopez, 2016; Bini eta Rossato, 2014). Maila altuagoko txirrindulariek, batik bat profesioaletan, teknika eraginkorragoa erakusten dute potentzia berdinean indar eraginkor handiagoa erakusten dutelako, eta fase gorakorrean indar negatibo txikiagoa erakusten dutelako (Bouillod eta lank., 2017; García-Lopez, 2016). Txirrindulariaren entrenamendu-mailak eta esperientziak teknikan eragin handia duela ikusi da. Maila altuagoko txirrindulariek eta esperientzia handiagoa dutenek aldakuntza gutxiago erakusten dute pedal-indarrean zein gihar aktibazioan, pedal-kolpe zikloen artean, pedal-kolpe egonkorragoa erakutsiz. Hala ere, pedal-kolpe trebeagoa lortzeko koordinazio patroia desberdinak agertzen dira maila altuko txirrindulari hauen artean. Honen arrazoa, entrenamenduetan eta txapelketetan pedalei eragiten pasatako denboraren ondoriozko egokitzapen neuromuskularrak ematen direla, eta txirrindularien artean egokitzapen hauek modu desberdinetan ematen direla da (Duc eta lank., 2019).

Aztertutako ikerketetan esperientzia maila, trebetasun eta maila lehiakor oso desberdinetako txirrindulariak parte hartu zuten, bizikleta garraiorako eta aisirako erabiltzen zutenetik hasita errendimendu gorena bilatzen duten txirrindulari profesionalak arte. Maila altuko txirrindularietan pedal-indarra aplikatzeko era desberdinak daudela ikusi da (Duc eta lank., 2019), beraz trebetasun eta esperientzia maila desberdina duten txirrindularietan indarra aplikatzeko era oso desberdinak espero ditzakegu. Baita pedal-indarraren eraginkortasunean eragiten duten aldagaien aldaketan aurrean emango diren egokitzapen desberdinen aurrean erantzun oso desberdinak ere espero ditzakegu. Gainera, maila altuko txirrindulariak entrenamendu zein lehiaketetan pilotutako denbora handiaren ondorioz jada oso eraginkorrak diren mugimendu-patroiak barneratuta dituzte. Arrazoi hauengaitik, errendimendua bilatzen duten maila altuko txirrindularietan pedal-indarra aplikatzeko eran aldaketa gutxi ematen direla ondorioztatzen dugu. Errendimendua hobetze aldera aurkikuntza hauek maila altuko txirrindularietan aplikatu nahi badira, pedal-indarrean ematen diren aldaketak maila altuko txirrindularietan ikertu beharko lirakekeela uste dugu.

Bizikleta ahalik eta azkarren mugitzea lortu nahi bada, pedalei ahalik eta indar eraginkor handiena aplikatu behar zaio. Arrazoi honengaitik lan honetan pedal-kolpea ikuspuntu mekanikotik aztertu da. Hala ere, errendimendua lortzeko eta pedal-kolpea aztertzeko kontuan hartu beharreko aldagai gehiago daude. Pedal-kolpearen teknika, aldagai zinetikoez (pedal-indarren aplikazioa) gain, beheko gorputz-adarraren zinematikaren (giltzaduren mugimendua) eta giharren aktibitatearen ikuspegitik aztertu daiteke. Aldagai biomekaniko hauek lotura estua dute, giharren uzkurdurak, beheko gorputz adarretako giltzaduretan indar-momentuak eta mugimendua sortuko dituelako, pedalean aplikatutako indarren anplitudea eta norabidea eraginez (Duc eta Lank., 2019). Bestalde, errendimendua lortzeko pedalei ahalik eta indar gehiena kostu energetiko baxuenarekin aplikatu behar zaie. Korff eta Lank.-ek (2007) ikuspuntu mekanikotik pedal-kolpe eraginkorra izateak era gordinean efizienteak izatearekin zerikusirik ez zuela ondorioztatu zuten. Hori dela-eta, errendimendua hobetu nahi izanez gero, eraginkorra izateaz gain txirrindulari efizientea ere izan behar da. Castronovo eta Lank.-ek (2013) aldagai guzti hauek kontuan hartuta errendimendua ebaluatzeko eredu matematiko baten proposamena egin zuten.

Pedalari indarra aplikatzerakoan bizikleta eta txirrindulariari abiadura emango dion propulzio indarra izan dadin, aplikatutako indarraren zati handia indar eraginkorra izan behar dela argi dago. Korff eta Lank.-ek (2007) norberak hautatutako teknikarik gogokoena erabil daitekeen teknikarik eraginkorrena dela ondorioztatu zuten. Hala ere, norberak hautatutako teknika hobetu daitekeela uste dugu. Izan ere, txirrindulariak berak hautatutako teknikarik gogokoena erabiltzen duenean fase gorakorrean indar negatiboa sortzen du, eta indar negatibo hau gutxituz gero pedal-indarraren eraginkortasuna handitu daiteke. Pedal-kolpearen fase gorakorrean pedala trakzionatzean arreta jarriz gero, indar negatiboa deuseztatzen da. Gainera, fase gorakorrean indar negatiboa gutxituta, kontrako aldeko hankak fase gorakorrean aurkitzen den hankan eragiten duen grabitate indarra gainditzeko aplikatu beharreko indarra gutxituko litzateke, eta ondorioz kontrako hankaren aktibazioa eta nekea gutxituko litzateke. Honengaitik, norberak hautatutako teknikarik gogokoena teknikarik eraginkorrena ez dela ondorioztatzen dugu.

Teknika eraginkorragoa lortzeko pedal-kolpearen fase gorakorra entrenamendu metodo desberdinen bidez landu daiteke: Oin bakarrarekin pedalari eragitea, elkarrekiko independenteak diren bielak erabiltzea, eta ikusmeneko zein entzumenezko feedbacka erabiltzea metodo hauetako batzuk dira (Duc eta Lank., 2019). Duela gutxi argitaratutako ikerketa batean Vidal eta Lank.-ek (2020) entzumenezko feedbacka erabiliz entrenamenduetan teknika hobetzeko metodo baliagarri eta bideragarria aurkitu zuten, errepidean arreta galdu gabe erabili zitekeelako. Metodo honetan pedal-



indarraren eraginkortasuna neurtzen duen sistema erabiltzen da, pedal-indarraren eraginkortasuna optimoa ez denean, hau da indar-momentua negatiboa denean, kirrinka hotsa igortzen duena.

Pedal-kolpearen eraginkortasuna hobetzeko tresna baliagarria izan daitekeen arren, txirrindularien teknika epe luzera aldatzea zaila da. Kontutan izan behar da esperientzia handiko txirrindulariek pedal-kolpea egiteko mugimendu-patroiak oso barneratuta izaten dituztela. Teknika aldatzeak giharren aktibazioan eta giltzaduren zinematikan aldaketak eragiten ditu, eta ondorioz, mugimendu-patroi desberdina inplikatzeko du. Mugimendu-patroi berriak barneratu eta aldaketa hauek efektu onuragarria izateko egokitzapen neuromuskularrak behar dira. Egokitzapen hauek pedal-kolpearen fase gorakorra denbora epe luzeagoan (gutxienez 4 aste baino gehiago Duc eta lank.-en (2019) arabera) entrenatuz lortu litezke. Ideia honekin bat etorritik, Schücker eta lank.-en (2016) ikerketa baten pedalean indarra era zirkularrean, hau da indarra pedal-kolpe osoan zehar banatzen, aplikatzen saiatzea mugimenduaren ekonomiarentzako kaltegarria zela aurkitu zen, baina hau teknika berriari egokitzeko denborarik utzi ez zutelako gertatu zen (ikerketa saio bakarrean egin zen). Gainera, pedal-kolpearen teknikan arreta jartzea lagungarria izan daiteke errendimenduari begira patroi ahalik eta eraginkorrena barneratzeko. Arrazoi guzti hauengatik pedal-kolpearen teknika hobetzeko entrenatzea onuragarria dela uste dugu. Dena den, aldaketa egonkorrak eta errendimenduan hobekuntza lortzeko egokitzapenak eskatzen duten denbora dela-eta, teknika aldatzeak eskatzen duen esfortzuak merezi duen erabakitzeke, teknika entrenamenduaren efektuak epe luzera gehiago ikertu beharko lirateke.

Bini eta Rossatok (2014) pedal-indarrean eta pedal-kolpearen teknikan eragiten duen aldagai nagusizat hartu ez bazuten ere, pedal-kolpeari buruz hitz egiterakoan kontutan hartu beharko litzatekeen beste parametro bat ezkerreko eta eskuineko aldean arteko pedal-indarraren asimetria da. Izan ere, asimetria pedal-indarra aplikatzeko moduaren ondorio zuzena da. Txirrindulari lehiakorretan indar eraginkorrean, indar erresultantean eta eraginkortasun indizean aldeko asimetriak aurkitu dira, hurrenez hurren %36-54, %11-21 eta %21-32 bitartekoak (Bini eta Hume, 2015). Chen eta lank.-ek (2016) ere torke maximoan %10 baino gehiagoko aldeko asimetria aurkitu zuten txirrindulari osasuntsuetan. Baita ere, beste ikerketa zaharrago batekin kontrajarriz, indar eraginkorrean asimetria handiagoa izatea errendimendu hobearrekin lotu zen (Bini eta Hume, 2015). Rannama eta lank.-ek (2015) ere aldeko asimetriak aurkitu zituzten eserita burututako esprint baten sortutako indar-momentuetan. Asimetriarik txikiena belauneko hedatzaileen indarrean aurkitu zuten, eta gainera hedatzaileen asimetria txikiagoa errendimendu hobearrekin koerlazioztatuta zegoela aurkitu zuten. Hau dela-eta, errendimendua hobetzeko eta, beharbada, gainkarga lesio arriskua gutxitzeko, pedal-kolpearen aldeko asimetriaren berrentrenamendua onuragarria izan daiteke. Feedbackarekin egindako berrentrenamendu saio laburraren bitartez asimetria gutxitu daiteke, batez

ere hanken arteko asimetria handia bada (%20<). Honetarako, atsedeen minutu batez tartekatutako minutu bateko 12 berrentrenamendu saio nahikoak izan daitezke. Saio hauetan pedal-kolpe bakoitzean aplikatutako indar maximoaren feedbacka jaso beharko litzateke, eta pedal-kolpearen fase behekorrean hanka ahularekin indar gehiago eta hanka dominantearekin indar gutxiago aplikatzeko agindua ahoz jaso beharko litzateke (Bini eta lank., 2016). Hortaz, feedbacka orokorrean pedal-kolpearen teknika hobetzeko erabil daitekeen metodoa da, bai pedal-indar eraginkortasuna handitzeko zein aldeko asimetriak zuzentzeko. Hala ere, pedal-kolpearen indar eraginkortasuna hobetzeko gertatzen den bezala, aldeko asimetriaren berrentrenamenduaren ondoriozko egokitzapen neuromuskularrak barneratzeke denbora behar da.

## ONDORIOAK

Laburbilduz, ez da aurkitu Bini eta Rossatok (2014) azaldutakoa eguneratzen duen aurkikuntza berririk. Nahiz eta errendimenduaren hobekuntzarako hainbat aldagai kontutan izan behar diren, pedal-kolpearen teknika indarraren aplikazioaren ikuspuntutik hobetzea komeni dela uste dugu. Izan ere, pedal-kolpe eraginkorragoa lortzeak txirrindularitik bizikletara doazen indarren transmisioa hobetuko luke, eta txirrindularia azkarrago joaten eta bere errendimendua hobetzen lagunduko luke aldagaietako bat izango litzateke. Pedal-kolpearen teknika hobetzeko, batez ere, pedal-kolpearen fase gorakorra lantzeko entrenamendu-metodoak denbora luzean (4 aste baino gehiago) erabili beharko lirateke.

# ERREFERENTZIAK

1. Bini, R. R., & Carpes, F. P. (Eds.). (2014). *Biomechanics of Cycling*. Springer International Publishing.
2. Bini, R. R., & Hume, P. A. (2015). Relationship between pedal force asymmetry and performance in cycling time trial. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(9), 892-898.
3. Bini, R., Hume, P., Lanferdini, F., & Vaz, M. (2014a). Effects of body positions on the saddle on pedalling technique for cyclists and triathletes. *European Journal of Sport Science*, 14, S413–S420.
4. Bini, R. R., Hume, P. A., & Kilding, A. E. (2014b). Saddle height effects on pedal forces, joint mechanical work and kinematics of cyclists and triathletes. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 44–52.
5. Bini, R. R., Jacques, T. C., Carpes, F. P., & Vaz, M. A. (2017). Effectiveness of pedalling retraining in reducing bilateral pedal force asymmetries. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1336-1341.
6. Bini R.R., & Rossato M. (2014) Kinetics and Pedaling Technique. In: Bini R., Carpes F. (eds) *Biomechanics of Cycling* (pp. 43-53). Springer International Publishing.
7. Bobbert, M. F., Casius, L. J., & Van Soest, A. J. (2016). The relationship between pedal force and crank angular velocity in sprint cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(5), 869-878.
8. Bouillod, P., Brunet, E., Soto-Romero, G., & Grappe, F. (2018). Influence of power output on pedalling biomechanical parameters in cyclists of different competitive levels. *Journal of Science and Cycling*, 6(3), 13-14.
9. Brøchner Nielsen, NP., Hug, F., Guével, A., Colloud, F., Lardy, J., & Dorel, S. (2018). Changes in Motor Coordination Induced by Local Fatigue during a Sprint Cycling Task. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(7), 1394-1404.
10. Castronovo, A. M., Conforto, S., Schmid, M., Bibbo, D., & D'Alessio, T. (2013). How to assess performance in cycling: the multivariate nature of influencing factors and related indicators. *Frontiers in Physiology*, 4(116), 1-10.
11. Chen, C. H., Wu, Y. K., Chan, M. S., Shih, Y., & Shiang, T. Y. (2016). The force output of handle and pedal in different bicycle-riding postures. *Research in Sports Medicine*, 24(1), 54-66.
12. Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J. R., Vandewalle, H., Hautier, C., & Hug, F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(6), 1174-1183.

13. Dorel, S., Hautier, C. A., Rambaud, O., Rouffet, D., Van Praagh, E., Lacour, J. R., & Bourdin, M. (2005). Torque and power-velocity relationships in cycling: relevance to track sprint performance in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 26(09), 739-746.
14. Duc, S., Bertucci, W., & Grappe, F. (2019). Strategies for improving the pedaling technique. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(12), 2030-2039.
15. Fonda, B., & Sarabon, N. (2010). Biomechanics of cycling. *Sport Science Review*, 19(1-2), 187-210.
16. García-López, J., Díez-Leal, S., Ogueta-Alday, A., Larrazabal, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2016). Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels. *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1619-1626.
17. de Groot, G., Sargeant, A., & Geysel, J. (1995). Air friction and rolling resistance during cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(7), 1090-1095.
18. Hansen, E. A., Voigt, M., Kersting, U. G., & Madeleine, P. (2014). Frequency and pattern of rhythmic leg movement in humans after fatiguing exercises. *Motor Control*, 18(3), 297-309.
19. Hug, F., & Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: a review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 182-198.
20. Korff, T., Romer, L. M., Mayhew, I. A. N., & Martin, J. C. (2007). Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 991-995.
21. Lanferdini, F. J., Bini, R. R., Figueiredo, P., Diefenthaler, F., Mota, C. B., Arndt, A., & Vaz, M. A. (2016). Differences in pedaling technique in cycling: A cluster analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 959-964.
22. Rannama, I., Port, K., Bazanov, B., & Pedak, K. (2015). Sprint cycling performance and asymmetry. *Journal of Human Sport and Exercise*, 10(1), S248-S258.
23. Schücker, L., Fleddermann, M., de Lussanet, M., Elischer, J., Böhmer, C., & Zentgraf, K. (2016). Focusing attention on circular pedaling reduces movement economy in cycling. *Psychology of Sport and Exercise*, 27, 9-17.
24. Skovereng, K., Aasvold, L. O., & Ettema, G. (2020). On the effect of changing handgrip position on joint specific power and cycling kinematics in recreational and professional cyclists. *Plos one*, 15(8), e0237768.
25. Verma, R., Hansen, E. A., de Zee, M., & Madeleine, P. (2016). Effect of seat positions on discomfort, muscle activation, pressure distribution and pedal force during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 27, 78-86.

26. Vidal, A., Bertin, D., Drouot, F., Kronland-Martinet, R., & Bourdin, C. (2020). Improving the pedal force effectiveness using real-time sonification. *IEEE Access*, *8*, 62912-62923.
27. de Vey Mestdagh, K. (1998). Personal perspective: in search of an optimum cycling posture. *Applied Ergonomics*, *29*(5), 325-334.
28. Too, D. (1990). Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Medicine*, *10*(5), 286-302.
29. Wozniak Timmer, C. A. (1991). Cycling biomechanics: a literature review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *14*(3), 106-113.