

# Þegar orkuna skortir

## — áhrif hlutfallslegs orkuskortis í íþróttum (RED-s) á heilsu og árangur

Birna Varðardóttir<sup>1</sup> doktorsnemi í íþrótt- og heilsufræði  
Sigríður Lára Guðmundsdóttir<sup>1</sup> íþrótt- og heilsufræðingur  
Anna Sigríður Ólafsdóttir<sup>1</sup> næringarfræðingur

<sup>1</sup>Deild heilsuefingar, íþrótt- og tómsunda, menntavísindasviði Háskóla Íslands.

Fyrirspurnum svarar Birna Varðardóttir, [biv8@hi.is](mailto:biv8@hi.is)

### Inngangur

Reglubundin hreyfing og þátttaka í skipulögðu íþróttastarfi hefur margvísleg jákvæð áhrif á heilsu, líðan og árangur í leik og starfi. Að mörgu er þó að huga og miklu máli skiptir að þjálfunarmagn, orku- og næringarefnainntaka, sem og önnur heilsuhegðun, styðji sem best við heilsu- og árangurstengda þætti.<sup>1,2</sup> Sé það ekki raunin er hætt við að jákvæð áhrif íþróttaiðkunar geti með tímanum snúist upp í andhverfu sína.<sup>1,3</sup> Tiltæk orka (*energy availability*) er lykilhugtak í íþróttanæringarfræði og tengdum vísindum, og vísar til þeirrar orku sem stendur eftir fyrir grunnstarfsemi líkamans þegar búið er að draga þá orku sem varið er við líkamlega þjálfun, frá orkunni sem fæst úr fæðunni sem neytt er dag hvern. Tiltæk orka er sett fram sem hitaeiningar (kcal) á hvert kg af fitufríum vöðumassa (FFM):

$Tiltæk\ orka = \frac{orkuinntaka\ (kcal) - orkunotkun\ við\ þjálfun\ (kcal)}{FFM\ (kg)}$ <sup>4</sup>

Næg tiltæk orka styður við heilsu og árangur í víðasta skilningi en viðvarandi orkuskortur veldur takmörkunum á almennri líkamstarfsemi, vexti og þroska.<sup>4,5</sup> Hugtakið „Þrenna íþróttakonunnar“ (*Female Athlete Triad*) hefur löngum verið notað til að lýsa sambandi tiltækrar orku, beinþéttni og tíðahrings hjá íþróttakonum.<sup>6</sup> Rannsóknir síðustu ára hafa leitt í ljós að lífeðlisfræðileg áhrif skertrar tiltækrar orku eru talsvert umfangsmeiri en þrennan gerir grein fyrir og geta komið fram hjá öllu íþróttafólki, óháð kyni. Sú vitneskja leiddi til þess að Alþjóða Ólympíufélagið (IOC) setti fram víðara hugtak um hlutfallslegan orkuskort í íþróttum (*Relative Energy Deficiency in Sport*, RED-s) árið 2014, sem lýsir áhrifum

### ÁGRIP

Mikilvægt er að íþróttafólk á öllum aldri tileinki sér mataræði sem styður sem best við heilsu og vellíðan, þjálfraðilega aðlögun, endurheimt og meiðslaforvarnir.

Tiltæk orka vísar til þeirrar orku sem stendur eftir fyrir grunnstarfsemi líkamans þegar búið er að draga þá orku sem varið er við líkamlega þjálfun frá orkunni sem fæst úr fæðunni sem neytt er dag hvern.

Hlutfallslegur orkuskortur í íþróttum (*Relative Energy Deficiency in Sport*, RED-s) stafar af viðvarandi skorti á tiltækri orku og hefur víðtæk áhrif á íþróttafólk, óháð kyni og getustigi. Áhrif RED-s geta meðal annars falið í sér skerðingu á efnaskiptahraða, hormónastarfsemi og tíðahring kvenna, beinheilsu, ónæmisvörnum, nýmyndun próteina og starfsemi hjarta- og æðakerfis. Slíkar truflanir á líkamsstarfsemi geta haft neikvæð áhrif á heilsu og íþróttarárangur til lengri og skemmri tíma.

Þekkt er að RED-s getur átt sér mismunandi orsakir og birtingarmyndir. Samkvæmt erlendum rannsóknum er algengi breytilegt eftir íþróttgreinum og sérhæfingum innan þeirra en áhættan er talin hvað mest í úthaldsíþróttum, fagurfræðilegum íþróttum og þyngdarflokkaíþróttum.

Greinin tekur saman þekkingu á áhrifum RED-s á heilsu og árangur, mikilvægi skimunar og snemmbærs inngrips. Þörf er á rannsóknum á RED-s meðal íslensks íþróttafólks sem gætu lagt grunninn að íslenskum ráðleggingum auk þess að efla forvarnir og meðferð.

of lítillar tiltækrar orku á heilsu og íþróttarárangur til skemmri og lengri tíma.<sup>7</sup> Til einföldunar verður vísað til hlutfallslegs orkuskortis sem RED-s hér eftir.

Orsakir RED-s geta verið margvíslegar, allt frá erfiðleikum með að uppfylla orkuþarfir vegna mikils æfingaálags til öfgakenndra þyngdartapsaðferða, óheilbrigðs sambands við mat og þjálfun auk klínískra átraskana.<sup>4,7</sup> Algengi RED-s hefur verið metið allt að 60% hjá íþróttafólki en virðist mjög breytilegt milli ólíkra íþróttgreina og jafnvel sérhæfingar innan þeirra.<sup>4,8,9</sup> Áhættan er talin hvað mest í úthaldsíþróttum, fagurfræðilegum íþróttum (til dæmis fimleikum og listdansi) og þyngdarflokkaíþróttum (til dæmis júdó og glímu) þar sem mögulegir áhættuþættir geta verið kröfur tengdar líkamsþyngd, útliti og líkamslögun samhliða miklu þjálfunarálagi.<sup>7,10,11</sup> Vandamál sem þessi geta þó komið fram hjá einstaklingum í öllum íþróttgreinum og á mismunandi getustigum.<sup>7,8,12</sup>

Markmið þessarar greinar er að gera grein fyrir stöðu þekkt-

Tafla 1. Lykilatriði í umfjöllun um RED-s.

➔	Hlutfallslegur orkuskortur í íþróttum (RED-s) vísar til viðvarandi skorts á tiltækri orku. Tiltæk orka er sú orka sem stendur eftir fyrir grunnstarfsemi líkamans þegar búið er að draga þá orku sem varið er við líkamlega þjálfun frá orkunni sem fæst úr fæðunni sem neytt er dag hvern.
➔	RED-s er algengt vandamál meðal íþróttafólks og getur komið fram hjá iðkendum í öllum íþróttagreinum, óháð kyni og getustigi.
➔	RED-s getur haft neikvæð áhrif á heilsu og árangur til lengri og skemmri tíma. Snemmbær greining og inngrip skiptir sköpum til að koma í veg fyrir langvarandi og óafturkræfar afleiðingar.
➔	Meðferð byggist á að leiðrétta undirliggjandi orsök með breytingum á æfingaálagi og/eða orkuinntöku og krefst gjarnan þverfaglegar nálgunar.
➔	Tíðateppa og aðrar blæðingatrufanir eru hvorki æskilegar né edlilegar afleiðingar íþróttaiðkunar hjá konum.
➔	Þörf er á rannsóknunum á algengi og birtingarmyndum RED-s meðal íslensks íþróttafólks.

ingar á áhrifum RED-s á heilsu og árangur íþróttafólks, mikilvægi skimunar og snemmbærs inngrips.

## Þróun skilgreiningar – frá þrennu íþróttakonunnar til RED-s

Þrenna íþróttakonunnar var fyrst sett fram á tíunda áratugnum og lýsti sambandi átraskana, tíðateppu og beinþynningar.<sup>13,14</sup> Þá var talið að þessi neikvæðu merki þyrftu öll að koma fram samtímis svo um þrennu íþróttakonunnar væri að ræða en samkvæmt endurskilgreiningu The American College of Sports Medicine (ACSM)<sup>6</sup> frá árinu 2007 lýsir þrennan innbyrðis tengslum milli tiltækra orku, tíðahrings og beinþéttni sem setja má fram á rófi. Hver þessara þriggja þátta getur því spannað allt frá edlilegu ástandi til einkenna á borð við of litla tiltæka orku með eða án átraskana, undirstúku-tíðateppu (*functional hypothalamic amenorrhea*) og beinþynningu (mynd 1). Á öðrum enda rófsins styður góð næring og hæfilegt þjálfunarálag við heilsu og líðan íþróttakonunnar þannig að tiltæk orka er nægileg, reglulegum tíðahringur er viðhaldið og beinabúskapur er edlilegur. Á hinum endanum ber á klínískum einkennum of lítillar tiltækra orku þar sem beinþéttni minnkar og röskun tíðahrings kemur fram.<sup>6,15</sup>

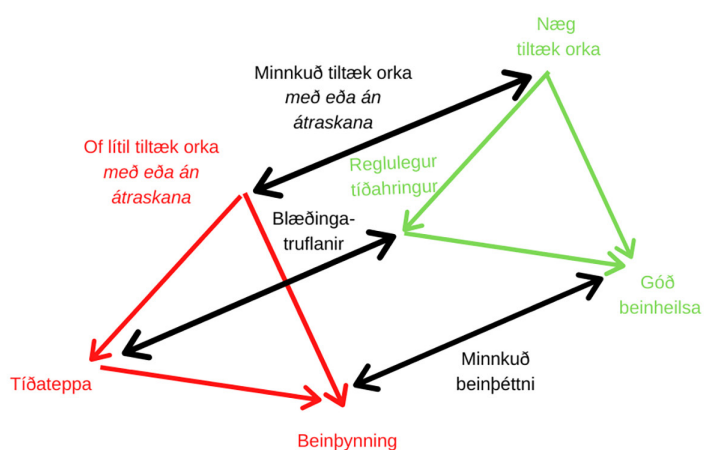
Í ljósi þess að skortur á tiltækri orku getur haft víðtækari áhrif en þrennan nær yfir, setti IOC fram RED-s-hugtakið árið 2014.<sup>7</sup> Ólíkt þrennunni nær RED-s ekki eingöngu til áhættuþátta hjá konum þar sem ljóst er að neikvæðra áhrifa gætir einnig hjá körlum.<sup>10,16</sup> Áhrif RED-s geta meðal annars falið í sér skerðingu á efnaskiptahraða, hormónastarfsemi og tíðahring kvenna, beinheilsu, ónæmisvörnum, nýmyndun próteina og starfsemi hjarta- og æðakerfis.<sup>7,12</sup> Slík skerðing á líkamsstarfsemi getur haft langvarandi neikvæð áhrif á heilsu og íþróttarárangur (mynd 2).

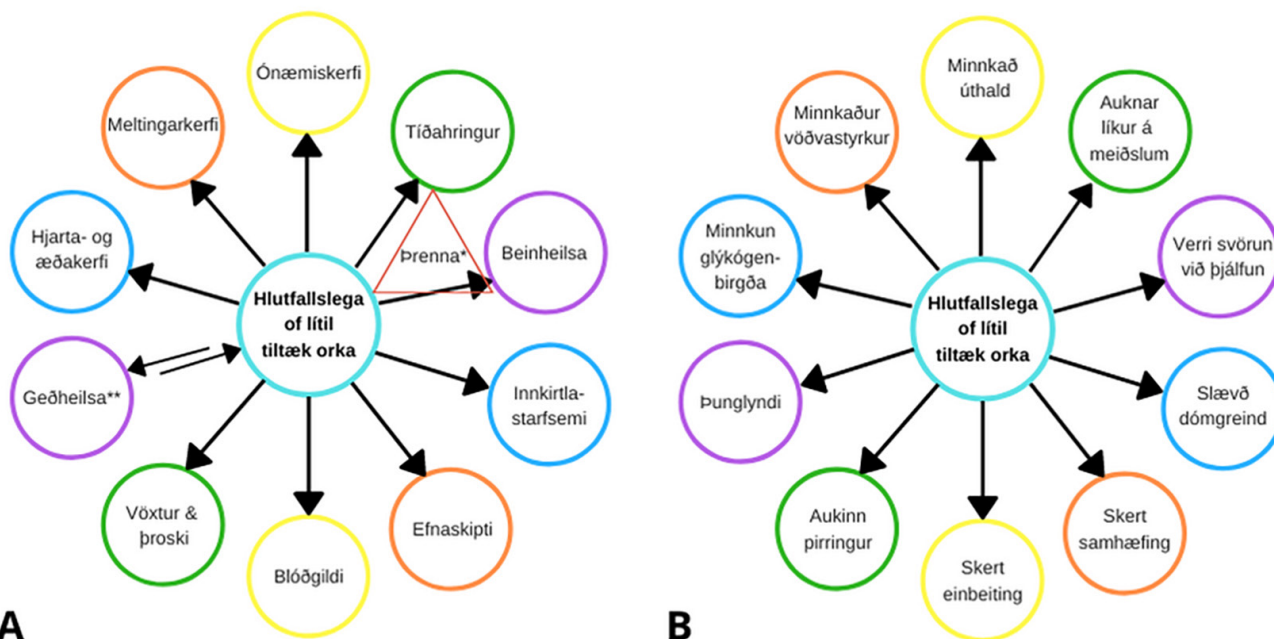
Til árangurstengdra þátta má telja minnkaða afkastagetu, slakari endurheimt, skerta samhæfingu, slævða dómgreind og auknar líkur á meiðslum. RED-s kemur ekki að fullu í stað þrennunnar heldur mætti líta á RED-s sem útvíkkun hennar. Á mynd 2A hefur þrennan verið felld inn í RED-s líkanið sem lýsir áhrifum á heilsu.<sup>12,17</sup> Rétt er að geta þess að þó fræðasamfélagið vísi í dag í auknum mæli til RED-s fremur en þrennunnar ríkir ekki fullkominn eining um þessa nýju hugtakanotkun og vilja sumir frekar tala um þrennu íþróttafólks með tilliti til kyns.<sup>16,18,19</sup>

## Helstu orsakir RED-s

RED-s getur stafað af ýmsum orsökum. Má þar fyrst nefna að annasamur lífsstíll og mikið æfingaálag hjá íþróttafólki getur valdið orkuþörf langt umfram meðalorkuþörf. Í sumum tilfellum gerir íþróttafólk sér ekki grein fyrir þessari auknu þörf eða á í erfiðleikum með að neyta nægilegs magns matar.<sup>4</sup> Til að mynda er þekkt að íþróttakonur sem neyta fyrst og fremst fæðis með lága orkuþéttni geta átt erfitt með að uppfylla orkuþörf sína.<sup>20</sup> Með orkuþéttni er átt við fjölda hitaeininga á hvert gramm af fæðutegund eða í máltíð. Fæðutegundir sem hafa lága orkuþéttni eru almennt ríkar af vökva og trefjum en fitusnaugar, svo sem grænmeti, ávextir og önnur jurtafæða.<sup>21,22</sup> Hátt hlutfall trefja og mikið vökvarúmmál eykur seddutilfinningu sem hefur áhrif á hversu mikla orku viðkomandi ræður við að borða. Því getur hlutfallslega mikil neysla matvæla með lága orkuþéttni orsakað skerta tiltæka orku og haft áður nefndar afleiðingar á tíðahring og almenna heilsu iðkandans.<sup>20</sup> Þá eru vísbendingar um að heildarorkuinntakan ein og sér skipti ekki bara máli heldur einnig dreifing máltíða og þar með jafnvægi í orkuinntöku yfir daginn.<sup>23</sup> Hjá úthaldsíþróttafólki hefur aukinn fjöldi klukkustunda sem varið er í orkuskortu (*within day energy deficiency*) verið tengdur minnkuðum hvíldarefnaskiptahraða, neikvæðum áhrifum á blóðgildi og truflunum á blæðingum og hormónastarfsemi.<sup>24,25</sup>

RED-s getur einnig stafað af notkun þyngdarstjórnunaraðferða sem mætti í sumum tilfellum líta á sem áhættuþættun.<sup>4</sup> Möguleg birtingarmynd þess er að einstaklingur hafi væntingar um

Mynd 1. Þrenna íþróttakonunnar, íslenskun á líkani frá Nattiv og fleirum.<sup>6</sup>



Mynd 2. Áhrif RED-s á A) heilsu og B) afkastagetu/íþróttárangur.

\*Þrenna íþróttakonunnar er fellð inn í líkanið til að sýna hversu afmörkuð þrennan er í samanburði við RED-s.

\*\*Áhrif á geðheilsu geta ýmist verið orsök eða afleiðing RED-s.

Þýtt og staðfært með leyfi Mountjoy og fleiri.<sup>7</sup>

að ná fram breytingu á holdafari og/eða útliti, sem leiðir til þráhyggjukenndrar fæðu- og æfingahegðunar<sup>26</sup> en slíkt kann að þróast út í klínískar átraskanir. Til klínískra átraskana telst lystarstol (*anorexia nervosa*), lotugræðgi (*bulimia nervosa*), ofátröskun (*binge eating disorder*) og átröskun ekki nánar skilgreind (*eating disorders not otherwise specified, EDNOS*).<sup>27</sup> Algengi átraskana og átröskunarhegðunar er ívið hærra meðal íþróttafólks en almennings,<sup>28,29</sup> eða 6-45% meðal kvenna og 0-19% meðal karla í íþróttum.<sup>26</sup>

Rannsóknunum á algengi fylgja þó ákveðnar aðferðafræðilegar takmarkanir. Má þar nefna mun á þeim rannsóknaraðferðum sem eru notaðar í ólíkum rannsóknum. Ýmsir sjálfsmats-skimunarlistar eru notaðir og breytileiki viðmiða fyrir skilgreiningar átraskana getur haft áhrif á niðurstöður.<sup>26</sup> Samkvæmt bestu núverandi þekkingu er algengi og áhætta átraskana hvað mest í úthaldsíþróttum og fagurfræðilegum greinum þar sem grannur líkamsvöxtur er gjarnan talinn mikilvægur fyrir árangur. Auk þess gera sumar íþróttgreinar kröfu um að einstaklingurinn sé í ákveðinni þyngd til að öðlast og halda keppnisrétti í gefnum þyngdarflokki. Aðrir mögulegir áhættuþættir átraskana eru fullkonnunarárátta, neikvæð líkamsmynd, væntingar og útlitstengd skilaboð þjálfara, áhrif samfélagsmiðla, íþrótt- og kynjasértækir þættir.<sup>26,30</sup> Þá geta einnig verið tengsl milli æfingapráhyggju, átröskunarhegðunar, fullkonnunarárátta og RED-s.<sup>31,32</sup>

### Innkirtla- og hormónastarfsemi

Tiltæk orka gegnir lykillhlutverki í þróunarlegu samhengi við að tryggja næga orku til lífs.

Skerðing á tiltækri orku leiðir til lífeðlisfræðilegrar aðlögunar sem miðar að orkusparnaði og viðhaldi á lífsnauðsynlegri virkni. Þetta kemur meðal annars fram í minnkuðum efnaskiptahraða í hvíld (*resting metabolic rate, RMR*)<sup>33,34</sup> og lágu hlutfalli milli mælds

og áætlaðs hvíldarefnaskiptahraða (*RMR ratio*) hjá íþróttafólki með eða í hættu á RED-s.<sup>35</sup>

Þá er æxlun, vöxtur og þroski orkufrek starfsemi sem geldur iðulega fyrir hlutfallslega orkuskerðingu. Í því samhengi eru blæðingatrufnanir oft með fyrstu einkennum orkuskerðingar hjá íþróttakönnum enda eru skilyrði til getnaðar óhagstæð í því ástandi.<sup>36,37</sup> Blæðingatrufnanir geta spannað allt frá gulbússtigi sem er of stutt (<10 dagar) og/eða einkennist af minnkuðum styrk þrógesteróns (*luteal phase defects*) til fátíða (*oligomenorrhea*), vöntunar á egglosi (*anovulation*) og tíðateppu (*amenorrhea*).<sup>38</sup> Slíkar truflanir eru algengar meðal íþróttakvenna og getur tíðni þeirra verið allt að 70% í hinum svokölluðu áhættugreinum, eins og til dæmis úthaldsíþróttum, fimleikum, dansi og listdans.<sup>39,40</sup> RED-s er aðeins ein mögulegra orsaka tíðateppu hjá íþróttakönnum en mikilvægt er að aðrar mögulegar orsakir séu útilokaðar við greiningu.<sup>41</sup> Þegar orsökina er rakin til RED-s á sér stað temprun á losunarhormóni kynhormónavaka (*gonadotropin releasing hormone, GnRH*) í undirstúku-heiladinguls-eggjastokka öxlinum sem gerir það að verkum að losun á eggbússtýrihormóni (*Follicle stimulating hormone, FSH*) og gulbússtýrihormóni (*Luteinizing hormone, LH*) frá fremri heiladingli truflast. Það hefur temprandi áhrif á framleiðslu estrógens og leiðir til röskunar á tíðahring.<sup>42</sup>

Algengt er að karlar í úthaldsíþróttum<sup>43-45</sup> mælist með lágan styrk testósteróns en einnig eru dæmi þess í þyngdarmiðuðum greinum<sup>46</sup> og liðsíþróttum.<sup>47,48</sup> Þessi lækkun á styrk testósteróns gæti stafað af truflunum á undirstúku-heiladinguls-kynkirtla-öxlinum og hefur í því skyni verið talað um þjálfunartengda vanseytingu kynkirtla (*exercise-hypogonadal male condition, EHMC*).<sup>49,50</sup> Því má líta á EHMC sem hliðstæðu undirstúku-tíðateppu hjá konum en fullur skilningur á ferlinu og ólíkum áhrifaþáttum krefst frekari rannsókna.<sup>50</sup> Hversu mikil lækkun verður á styrk testósteróns og hvort þær breytingar stafi af áhrifum á undir-

stúku-heiladinguls-kynkirtlaöxulinn gæti til að mynda verið háð magni tiltækra orku og hvort um RED-s er að ræða.<sup>8,37</sup> Þá er einnig þörf á frekari rannsóknum á sértækum hormónabreytingum hjá körlum sem geta tengst RED-s. Má þar nefna að rannsóknunum á körlum með minnkaðan styrk testósteróns ber ekki saman um áhrif á tíðni og magn LH-framleiðslu og þar gæti eðli og tímallengd orkuskerðingar/RED-s haft sitt að segja.<sup>12,37</sup> RED-s gæti einnig haft áhrif á frjósemi og kynhvöt.<sup>18,50</sup>

Öðrum hormónatengdum áhrifum RED-s sem geta komið fram hjá íþróttafólki af báðum kynjum, og innbyrðis tengslum þeirra, eru gerð góð skil í yfirlitsgrein Elliott-Sale og meðhöfunda.<sup>37</sup> Til að mynda geta orðið breytingar á hormónum sem hafa með svengdar- og seddustjórnum að gera, svo sem lækkun á styrk leptíns og hækkun á styrk ghrelíns. Auk þess getur dregið úr losun insúlíns og mætti líta á það sem viðleitni líkamans til að auka hlut tiltækra orku úr næringarefnum. Loks eru dæmi um minnkaðan styrk insúlín-líks vaxtarþáttar (*Insulin-like growth factor 1, IGF-1*), skjaldkirtilhormónsins þríjódýroníns (T3) og hækkaðan styrk streituhormónsins kortisóls. Þessar hormónabreytingar geta einnig valdið truflunum á tíðahring og virkni undirstúku-heiladinguls-kynkirtlaöxuls sem lýst er hér að ofan.<sup>18</sup>

## Áhrif á beinheilsu

Jákvæð áhrif reglubundinnar þjálfunar á beinheilsu eru vel þekkt. Það á sérstaklega við um fjölbreytta þjálfun sem felur í sér þunga-berandi álag en ekki þjálfun eins og hjólréiðar og sund sem skortir slíkt áreiti.<sup>51</sup> Þessi jákvæðu áhrif þjálfunar á beinheilsu eru þó í flóknu samspieli við tiltæka orku sem hefur bæði bein og óbein áhrif á styrk og viðhald beinvefs. Þekkt er að skortur ákveðinna næringarefna, svo sem D-vítamíns og kalks, og minnkaður styrkur leptíns, T3, IGF-1 og insúlíns getur haft neikvæð áhrif á bein. Þær breytingar geta einnig haft áhrif á losun og starfsemi kynhormóna.<sup>51-53</sup> Estrógen og breytingar á styrk þess gegnum tíðahringinn gegnir veigamiklu hlutverki þegar kemur að beinheilsu kvenna.<sup>54</sup> Tíðateppa og þar með viðvarandi lágur styrkur estrógens hefur því neikvæð áhrif á beinþéttni, og getur með tímanum leitt til álagsbrota og óafturkræfrar beinþynningar.<sup>42</sup> Áhrifa RED-s á beinheilsu gætir einnig hjá körlum, sem getur tengst minnkuðum styrk testósteróns og annarra hormóna. Tengsl tiltækra orku við hormónatengd áhrif á bein hjá körlum eru þó ekki að fullu rannsökuð.<sup>16,37</sup> Vísbendingar um þátt RED-s og lágs styrks testósteróns í minnkaðri beinþéttni í lendhrygg hjá úthaldsþróttamönnum eru þó einkar áhugaverðar og gefa tilefni til frekari rannsókna.<sup>55,56</sup>

## Möguleg skórun RED-s og járnskorts

Járnskortur er tiltölulega algengt vandamál meðal íþróttafólks, einkum íþróttakvenna og úthaldsþróttafólks.<sup>57</sup> Þó tengsl járnskorts og RED-s séu ekki að fullu þekkt eru vísbendingar um að járnskortur geti bæði verið orsök og afleiðing RED-s.<sup>12</sup> Járnskortur getur til að mynda dregið úr matarlyst, haft áhrif á orkubúskap og efnaskipti. Þá getur járnskortur haft neikvæð áhrif á bein gegn-

um truflanir á vaxtarhormóns/IGF-1 öxlinum, súrefnisflutningi og starfsemi skjaldkirtils. Járnskortur getur einnig haft áhrif á frjósemi, geðheilsu og aðra heilsutengda þætti.<sup>58</sup> Þó ekki sé algilt að járnskortur fari saman við RED-s undirstrikar þetta mikilvægi þess að viðunandi orku- og næringarefnabúskapur íþróttafólks sé tryggður. Ef um járnskort er að ræða geta bætiefni komið að gagni við að auka matarlyst og almenna líðan en þó þarf alltaf að ganga úr skugga um að tiltæk orka sé að fullu leiðrétt.<sup>12,58</sup>

## Önnur áhrif RED-s á heilsufar

Meðal annarra mögulegra áhrifa RED-s á heilsu eru skert starfsemi hjarta- og æðakerfis, og ónæmiskerfisins, og meltingartruflanir. Þessu eru gerð ítarlegri skil í greinum IOC um RED-s.<sup>7,12</sup> Í alvarlegustu tilfellunum getur í reynd verið um lífshættulegt ástand að ræða.

## Áhrif á afkastagetu og íþróttarárangur

Forsenda þess að íþróttafólk geti hámarkað afkastagetu og þjálf-fræðilega aðlögun er að það sé við sem besta heilsu og lífeðlis-fræðileg starfsemi virki sem skyldi. Minnkuð skilvirkni hjarta- og æðakerfis er dæmi um möguleg bein áhrif RED-s á afkastagetu, sem getur meðal annars komið fram í minnkuðu úthaldi. Þá getur ófullnægjandi andleg og líkamleg endurheimt haft neikvæð áhrif á vöðvamassa og virkni. Áhrif markvissrar þjálfunar eru að mörgu leyti háð eðli og sértækni þjálfunar sem geta meðal annars falist í aukinni hæfni líkamans til geymslu á glýkógeni og/eða til að hámarka nýmyndun vöðvapróteina, en skortur tiltækra orku vinnur þvert gegn slíkum markmiðum.<sup>4,7,12</sup> Loks má nefna að afbrigðileg hormónastarfsemi og minnkuð beinþéttni eykur líkur á veikari beinvef og álagsbrotum<sup>52</sup> auk þess sem skert virkni ónæmiskerfis getur leitt til tíðari veikinda, svo sem sýkinga í efri hluta öndunarvega.<sup>59-61</sup> Meltingareinkenni sem geta komið fram í RED-s eru meðal annars seinkuð magatæming og hægðatregða<sup>62</sup> sem getur haft verulega neikvæð áhrif á líðan og frammistöðu í æfingum og keppni. Meltingarónot og truflanir bitna meðal annars á afkastagetu og endurheimt, og óþægindi tengd meltingu eru algeng orsök þess að íþróttafólk nær ekki að ljúka keppni.<sup>63</sup>

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á beinum áhrifum RED-s á árangur í tilteknum íþróttagreinum en fleiri byggja á niðurstöðum spurningakannana eða skoða tengsl RED-s við röðun einstaklinga á styrkleikalistum. Þær rannsóknir benda til viðtækra áhrifa á árangur.<sup>56,64-66</sup> Verri taugavöðvavirkni (*neuromuscular performance*), mæld sem vöðvastyrkur og úthald kringum hné, hefur greinst hjá úthaldsþróttakonum með tíðateppu samanborið við þær sem hafa eðlilegar tíðir. Verri taugavöðvavirkni var þar tengd minnkuðum fitufriðum vöðvamassa í þeim fótlegg sem var prófaður, auk lægri styrks glúkósa, estrógens og T3 en hærri styrks kortisóls í blóði.<sup>67</sup> Það er í nokkru samræmi við niðurstöður Vanheest og félagar<sup>65</sup> sem gefa vísbendingar um slakari árangur íþróttakvenna með blæðingartuflanir en þeirra sem höfðu eðlilega virkni eggjastokka og tíðahring. Þó ekki sé hægt að fullyrða um orsakasamhengi milli

## Áhrifa RED-s á beinheilsu gætir einnig hjá körlum, sem getur tengst minnkuðum styrk testósteróns og annarra hormóna.

lífmerkja (*biomarker*) RED-s og áhrifa á íþróttarárangur út frá slíkum niðurstöðum gefa þær engu að síður vísbendingar um mögulegar líffræðilegar skýringar.

### Íþróttafólk með fatlanir

Lítið er vitað um algengi, áhættuþætti og birtingarmyndir RED-s meðal fatlaðs íþróttafólks, og hvort líffræðilegar orsakir séu að einhverju leyti frábrugðnar því sem sést hjá öðru íþróttafólki. Þar gæti tegund og alvarleiki fötlunar, sem getur til að mynda haft áhrif á orkuþörf og líffræðilega virkni, ráðið því hvort viðkomandi sé í aukinni hættu á RED-s.<sup>68</sup> Til dæmis er orkuþörf þeirra

sem nota hjólastól við daglegar athafnir oft minni en meðalþörf<sup>69,70</sup> á meðan orkuþörf einstaklinga með skaða á miðtaugakerfi, svosem CP-hreyfihömlun (*cerebral palsy*), getur verið umfram meðalþörf.<sup>71</sup> Rannsóknir á íþróttafólki með mænuskaða gefa til kynna að orkuþörf þess hóps sé undir meðalþörf<sup>68</sup> en bent hefur verið á að skerði þeir einstaklingar orkuinntöku um of til að viðhalda eða ná ákveðinni líkamspýngd geti það leitt til skorts á mikilvægum næringarefnum.<sup>68,72</sup> Í nýlegri rannsókn sem mat

algengi áhættuþátta RED-s meðal fatlaðs afreksiþróttafólks út frá rafrænum spurningalistum kom meðal annars fram að stór hluti þátttakenda hefði það að markmiði að breyta líkamspýngd- og/ eða samsetningu fyrir árangur í sinni grein. Þá var algengi blæðingatrufana 44% meðal íþróttakvenna í rannsókninni.<sup>73</sup> Vert er að hafa í huga að blæðingatrufanir meðal fatlaðra íþróttakvenna gætu stafað af truflunum á taugastarfsemi sem getur haft áhrif á undirstúku-heiladinguls-eggjastokka öxulinn, óháð tiltækri orku.<sup>74,75</sup> Loks getur hreyfihömlun haft neikvæð áhrif á beinheilsu fatlaðs íþróttafólks. Fyrir því eru ýmsar mögulegar ástæður, svo sem lómun og skortur á þungaberandi áreiti sökum fötlunarinnar.<sup>68</sup> Það má því ljóst vera að fatlað íþróttafólk býr margt við ýmsar heilsutengdar áskoranir sem RED-s gæti aukið enn frekar á. Þess vegna skiptir máli að orku- og næringarefnaþarfir þess hóps fái sérstaka athygli í rannsóknum, fræðslu og forvarnarstarfi.

### Áhættumat og skimun

Snemmbær greining íþróttafólks með RED-s skiptir miklu máli þar sem neikvæðar afleiðingar eru í flestum tilfellum afturkræfar ef inngrip er hafið nógu snemma.<sup>7</sup> Beinir mælingar á tiltækri orku eru þó tímafrekt og vandasamt verkefni sem verður ekki alltaf komið við í íþróttastarfi. Hjá íþróttakonum hefur <30 kkal/kg FFM/dag verið notað sem viðmið fyrir skerta tiltæka orku, 30-45 kkal/kg FFM/dag sem miðlungs tiltæk orka en ≥45 kkal/kg FFM/dag talin ákjósanleg tiltæk orka.<sup>5</sup> Þessi viðmið byggja að mestu á upphaflegum íhlutandi skammtímarannsóknum Loucks og félagara<sup>76,77</sup> sem fundu truflanir á tíðnimynstri LH og bælingu efna-skiptahormóna þegar tiltæk orka fór undir 30 kkal/kg FFM/dag í hópi óþjálfðra kvenna. Engin slík viðmið hafa verið sett fram fyrir karla en vísbendingar eru um að þau væru lægri (skert tiltæk orka ~20-25 kkal/kg FFM/dag) sökum þess líffræðilega munar

sem er á kynjunum.<sup>18,78,79</sup> Þá hafa þessi viðmið verið nokkuð umdeild síðastliðin ár. Má þar fyrst nefna nýlegar rannsóknir sem gefa vísbendingar um að tiltæk orka við eða undir 30 kkal/kg FFM/dag viðmiðinu spái ekki fyrir um blæðingatrufanir í öllum tilfellum.<sup>80,81</sup> Það gæti meðal annars skýrst af einstaklingsbundinni líffræðilegri svörum við gefnu magni tiltækra orku.<sup>80</sup> Viðmið tiltækra orku gætu því betur átt við til áhættumats og flokkunar fyrir stærri hópa og rannsóknir.<sup>18,80</sup> Einnig eru ýmsar aðferðafræðilegar áskoranir við mat á tiltækri orku utan stýrðra aðstæðna tilraunastofa og þörf á alþjóðlega viðurkenndri og staðlaðri aðferð til mats á tiltækri orku.<sup>82</sup>

Þar sem mæling tiltækra orku er svo flókið og tímafrekt verkefni hefur erlendis verið mælt með því að fyrst sé notaður einfaldur sannprófaður spurningalisti og skimunartæki, svo sem Relative Energy Deficiency in Sport Clinical Assessment Tool (RED-s CAT),<sup>83</sup> samhliða klínískri skoðun. Slíkir listar eru enn ekki til í íslenski þýðingu. Niðurstaða skimunar gæti þá gefið tilefni til frekara mats á þáttum eins og næringarástandi og beinþéttni.<sup>82</sup> RED-s CAT er klínískt matstæki fyrir fagfólk til skimunar, greiningar og eftirfylgni íþróttafólks með

RED-s. Í því skyni hefur til að mynda verið mælt með að stuðst sé við RED-s CAT í árlegri læknisskoðun og/eða ef grunur leikur á RED-s, svo sem ef einstaklingur sýnir einkenni átraskana, léttist hratt, tekur ekki út eðlilegan vöxt og þroska á kynþroskatímabilinu, truflun verður á innkirtla- og hormónastarfsemi, meiðsli og/ eða veikindi eru tíð, skaplyndi breytist eða árangur í íþróttinni fer dvínandi. Út frá sögu og skoðun einstaklingsins má nota RED-s CAT til að flokka einstaklinga eftir áhættu í rauðan flokk (mikil áhætta), gulan (miðlungs áhætta) eða grænan (lítil eða engin áhætta), líkt og sýnt er í töflu II. Erlendis hefur RED-s CAT verið notað til að meta áhættu af þátttöku í æfingum og keppni, sem og til að auðvelda ákvarðanir um hvort einstaklingar geti hafið æfingar aftur eða án takmarkana í kjölfar meðferðar eða inngrips. Er þar ráðlagt að þeim sem falla undir rauðan flokk sé ekki heimiluð þátttaka í æfingum og keppni meðan ástandið er svo alvarlegt enda gæti slíkt haft alvarlegar afleiðingar á heilsu og tafið bataferli og meðferð. Þeir sem falla undir gulan áhættuflokk geta samkvæmt því haldið þátttöku áfram svo fremi að eftirlit sé með þeim, þeir framfylgi meðferðaráætlun og staðan sé endurmetin á eins til þriggja mánaða fresti.<sup>78,83</sup> Leiðbeinandi áhættumat hefur einnig verið sett fram fyrir þrennu íþróttakonunnar<sup>15</sup> en ekki verður fjallað nánar um það hér. Þá hefur Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q) skimunarlistinn reynst vel við að meta tíðni og áhættu kvenna á RED-s. LEAF-Q tekur til líffræðilegra einkenna skertrar orkuinntöku; meiðsla og meltingareinkenna, reglu tíðahrings, blæðingasögu og notkunar getnaðarvarna. Áreiðanleiki og réttmæti LEAF-Q var upphaflega metið meðal úthaldsþróttakvenna og dansara<sup>62</sup> og er LEAF-Q sá listi sem hefur verið mest notaður í rannsóknum á íþróttakonum síðastliðin ár.<sup>8</sup> Í nýlegri rannsókn á breskum karlkyns hjólaðmönnum<sup>55</sup> var notaður spurningalisti sem var sérhannaður fyrir þá íþróttgrein samhliða klínísku viðtali (Sport-specific Energy

**Forsenda þess að íþróttafólk geti hámarkað afkastagetu og þjálfraðilega aðlögun er að það sé við sem besta heilsu og líffræðileg starfsemi virki sem skyldi.**

**Tafla II.** Hlutfallslegur orkuskortur í íþróttum (RED-s) – áhættumat vegna þátttöku í íþróttum (RED-s CAT), þýtt og staðfært frá Mountjoy og fleirum.<sup>83</sup> Erlendis er RED-s CAT ætlað sem skimunartæki fyrir fagfólk samhliða almennri heilsufarsskoðun íþróttafólks eða þegar grunur leikur á RED-s. Taflan tekur saman einkenni sem geta bent til RED-s. Því fleiri einkenni sem einstaklingurinn sýnir þeim mun meiri líkur á RED-s. Áhættuflokkunum þremur (rauður, gulur, grænn) er ætlað að vera leiðbeinandi við inngrip og meðferð.

Rauður flokkur: mikil áhætta	Gulur flokkur: miðlungs áhætta	Grænn flokkur: engin áhætta
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lystarstol og aðrir alvarlegir átröskunarsjúkdómar</li> <li>Önnur klínísk einkenni (sálfræðileg og lífeðlisfræðileg) sem tengjast skorti á tiltækri orku</li> <li>Notkun öfgakenndra þyngdartapsaðferða sem leiða til lífshættulegs ástands sökum vöskvaskorts</li> <li>Afbrigðileg starfsemi hjarta (til dæmis mjög hægur hjartsláttur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viðvarandi verulega lágt hlutfall líkamsfitu (%) skv. DXA-mælingu eða annarri viðurkenndri aðferð</li> <li>Hratt þyngdartap (5-10% á einum mánuði)</li> <li>Stöðnun á eðlilegum vexti og þroska ungmenna í íþróttum</li> <li>Blæðingatrufnanir: Undirstúku-tíðateppa (meira en 3 mánuðir)</li> <li>Tíðabyrjun eftir 15 ára aldur</li> <li>Óeðlileg hormónagildi hjá körlum</li> <li>Minnkuð beinþéttni (milli mælinga eða Z-skor &lt; -1 SD)</li> <li>Saga um eitt eða fleiri álagsbrot sem tengjast hormóna- eða blæðingatrufnunum og/eða skorti á tiltækri orku</li> <li>Líkamleg eða sálfræðileg einkenni vegna skertrar tiltækrar orku og/eða átraskana</li> <li>Langvarandi hlutfallslegur orkuskortur</li> <li>Átröskunarhegðun sem hefur neikvæð áhrif á aðra líðsfélaga</li> <li>Slök meðferðarhaldni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heilbrigð líkamsþyngd og vöxtur sem er viðhaldið án öfgakenndrar fæðu- og æfingahegðunar</li> <li>Heilsusamlegar fæðuvejur og næg tiltæk orka</li> <li>Eðlileg hormóna- og efnaskiptastarfsemi</li> <li>Eðlileg beinþéttni miðað við íþrótt, aldur og þjóðerni</li> <li>Heilbriggt stoðkerfi</li> </ul>

DXA: tvíorku röntgengeislagleypnimæling (dual energy X-ray absorptimetry).

Availability Questionnaire and Interview, SEAQ-I). Þó er brýn þörf á þróun og sannprófun lista sem er sambærilegur LEAF-Q fyrir karla en sú vinna er komin af stað erlendis og má samkvæmt heimildum vænta LEAM-Q (Low Energy Availability in Males Questionnaire) í náninni framtíð.<sup>8,12</sup>

### Meðferð við RED-s

Meðferð íþróttafólks með RED-s byggist á að leiðrétta undirliggjandi orsök, það er þann skort sem er á tiltækri orku. Til að ná því markmiði þarf iðulega að koma til aukning á orku- og næringar-efnainntöku úr fæðu og/eða minnkað æfingaálag. Í sumum tilfellum getur þurft að gera hlé á æfingum og keppni þar til telst öruggt að hefja æfingar að nýju án þess að það komi niður á heilsu. Sé um að ræða alvarleg tilvik, svo sem undirliggjandi átröskun, er að koma þverfaglegs teymis lækna, sálfræðinga og næringarfræðinga oft nauðsynleg.<sup>12,84</sup>

Verði truflun eða stöðvun á blæðingum íþróttakvenna sökum RED-S ætti að leitast við að leiðrétta það ástand með áburnefndum breytingum á æfingum og/eða mataræði.

Í greinum IOC um RED-s<sup>7,12</sup> segir að ekki sé mælt með notkun

getnaðarvarnarpilla til að koma blæðingum af stað og/eða auka beinþéttni enda leiðrétta þær ekki hina undirliggjandi orsök. Þá kemur fram í klínískum leiðbeiningum fyrir undirstúku-tíðateppu, sem alþjóðasamtök innkirtlasérfræðinga (The Endocrine Society)<sup>85</sup> gefa út, að verndandi áhrif getnaðarvarnarpilla á bein séu mjög takmörkuð. Án aukningar á tiltækri orku er beinheilsu því ógnað áfram. Þá er mikilvægt að íþróttakonur sem nota slíkar pillur sem getnaðarvörn séu meðvitaðar um að blæðingar sem getnaðarvarnarpillur framkalla eru frábrugðnar náttúrulegum blæðingum og eru einar og sér ekki til marks um eðlilegan tíðahring. Í reynd getur undirstúku-tíðateppa verið falið vandamál þar til notkun slíkra lausna er hætt og náttúrulegar blæðingar hefjast ekki aftur innan fárra mánaða. Takist ekki að koma blæðingum í eðlilegt horf með markvissum breytingum á mataræði og/eða æfingum mæla alþjóðasamtök innkirtlasérfræðinga með notkun estradiols um húð (*transdermal E2 therapy*) samhliða notkun prógestíns til skamms tíma.<sup>85</sup> Ólíkt getnaðarvarnarpillum bælir E2 um húð ekki losun og virkni IGF-1 en IGF-1 er eitt þeirra hormóna sem skiptir máli fyrir styrk og viðhald beina. Rannsóknir benda til að E2 um húð geti gagnast til aukningar á beinþéttni í tilfellum átraskana<sup>86</sup> og blæðingatrufnana<sup>87</sup> en er þó ekki áreiðanleg getn-

aðarvörn og skyldi það haft í huga ef markmiðið er að fyrirbyggja þungun.<sup>12,85</sup>

## Lokaorð

Eitt af meginmarkmiðum íþróttahreyfingarinnar er að styðja við og efla heilsu og velferð einstaklingsins. Góð heilsa er auk þess forsenda íþróttarárangurs til skemmri og lengri tíma. Þess vegna er mikilvægt að beina sjónum að mögulegum heilsufarslegum áskorunum íþróttafólks á öllum aldri og getustigum. Síðustu ár hefur rannsóknarhugi á RED-s aukist erlendis og er hagnýtingargildi þeirra rannsókna verulegt. Þar reynir vissulega á markvisst samtal vísindamanna við bæði íþróttahreyfinguna og heilbrigðisstarfsfólk til að auka meðvitund um áhættuþætti, birtingarmyndir, forvarnir og meðferð. Hafa ber í huga að RED-s getur haft víðtæk áhrif á heilsu og árangur, óháð kyni og getustigi í tiltekinni íþrótt.

Ólíkt því sem margir gætu haldið á RED-s ekki alltaf skylt við átraskanir og/eða verulega undirþyngd og því þurfa þjálfarar, sjúkraþjálfarar og aðrir fagaðilar að þekkja til annarra mögulegra orsaka. Stundum er einfaldlega um að ræða einstaklinga með háleit markmið í æfingum sem gera sér ekki grein fyrir eigin orkuþörf eða eiga í erfiðleikum með að uppfylla hana. Andleg og líkamleg vanlíðan, álagsbrot og/eða önnur meiðsli gefa fullt tilefni til frekari skoðunar á næringarástandi. Einnig er áriðandi að íþróttafólk fái faglega fræðslu og næringarráðgjöf sérfræðinga með þar til bæra þekkingu á íþróttanæringarfræði til að styðja við heilsu og árang-

ur.<sup>88</sup> Það er reynsla höfunda að kappsamir iðkendur horfi gjarnan frekar til íþróttarárangurs í nú en lífsgæða og heilsufars síðar á lífsleiðinni. Þegar umræðan um RED-s er opnuð getur því reynst gagnlegt að sjónum sé fyrst beint sérstaklega að árangurstengdum afleiðingum en aðrir þættir skoðaðir í framhaldinu.

RED-s er tiltölulega nýtt hugtak en áður en það var sett fram árið 2014 hafði lengi verið talað um þrennu íþróttakonunnar. Þau kynjasértæku áhrif sem þrennan lýsti eru því best þekkt. Síðastliðin ár hefur rannsóknnum á áhrifum RED-s á heilsu og árangur karla fjölgað þó enn sé mörgum spurningum ósvarað. Jafnframt er þörf á fleiri rannsóknum á RED-s í öðrum greinum en þeim sem taldar hafa verið með aukna áhættu. Loks er vert að gefa sérstakan gaum að RED-s meðal fatlaðs íþróttafólks.

Erlendis hafa spurningalistar komið að gagni við skimun, áhættumat og greiningu RED-s. Mat tiltækrar orku er vandasamt verkefni og þörf er á alþjóðlega viðurkenndri aðferð fyrir slíkt mat til að tryggja sem best réttmæti og auðveldla samanburð milli ólíkra rannsókna. Spurninga- og skimunarlistar hafa því töluvert upplýsingagildi í rannsóknum samhliða klínískum mælingum og mati á tiltækri orku. Hérlandis skortir rannsóknir á tiltækri orku, algengi og áhættuþáttum RED-s meðal íslensks íþróttafólks. Niðurstöður nýlegrar rannsóknar á líkamsímynd og átröskunar-einkennum meðal íslensks íþróttafólks<sup>89</sup> gefa þó fullt tilefni til frekari rannsókna á næringartengdum áskorunum meðal þessa hóps. Þróun íslenskra skimunartækja og ráðlegginga þarf að byggja á frekari rannsóknum, sem jafnframt myndi efla forvarnir og meðferð.

Greinin barst til blaðsins 29. maí 2020, samþykkt til birtingar 10. ágúst 2020.

## ENGLISH SUMMARY

### Health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-s)

Birna Varðardóttir<sup>1</sup>

Sigríður Lára Guðmundsdóttir<sup>1</sup>

Anna Sigríður Ólafsdóttir<sup>1</sup>

**Key words:** sport, nutrition, health, performance, energy availability, relative energy deficiency

**Correspondence:** Birna Varðardóttir, [biv8@hi.is](mailto:biv8@hi.is)

<sup>1</sup>Faculty of Health promotion, Sport and Leisure Studies, University of Iceland.

Fulfilling individual energy and nutrient requirements is of great importance for athletes to support overall health and well-being, training adaptation, recovery and injury prevention.

Energy availability is the amount of energy left over and available for bodily functions after the energy expended for training is subtracted from the energy taken in from food.

The syndrome of Relative Energy Deficiency in Sport (RED-s) refers to the multifactorial health and performance consequences of low energy availability. Potential physiological implications of RED-s include impaired metabolic rate, hormonal disruptions, menstrual dysfunction, reduced bone health, immunity, protein synthesis, and cardiovascular health. These can have short and long term consequences on health and sport performance.

Causes of RED-s range from unintentional (e.g. lack of awareness or difficulties with meeting high energy requirements) to more intentional behaviors and further to clinical eating disorders. RED-s prevalence appears to differ between sports and sport disciplines, with highest risk in endurance, aesthetic and weight-class sports.

This article summarizes current knowledge of RED-s implications for health and performance, and highlights the importance of early diagnosis and screening. Research on RED-s in Icelandic athletes is warranted as it could support development of national guidelines, prevention and treatment protocols.

10.17992/ibl.2020.09.596

## Heimildir

- Soligard T, Schwelunus M, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Brit J Sports Med* 2016; 50: 1030.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet* 2016; 116: 501-28.
- Schwelunus M, Soligard T, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *Br J Sports Med* 2016; 50: 1043-52.
- Logue D, Madigan SM, Delahunt E, et al. Low Energy Availability in Athletes: A Review of Prevalence, Dietary Patterns, Physiological Health, and Sports Performance. *Sports Med (Auckland, NZ)* 2018; 48: 73-96.
- Loucks AB, Kiens B, Wright HH. Energy availability in athletes. *J Sports Sci* 2011; 29 Suppl 1: S7-S15.
- Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1867-82.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, et al. The IOC consensus statement: beyond the female athlete triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med* 2014; 48: 491-7.
- Logue DM, Madigan SM, Melin A, et al. Low Energy Availability in Athletes 2020: An Updated Narrative Review of Prevalence, Risk, Within-Day Energy Balance, Knowledge, and Impact on Sports Performance. *Nutrients* 2020; 12: 835.
- Melin AK, Heikura IA, Tenforde A, et al. Energy Availability in Athletics: Health, Performance, and Physique. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2019; 29: 152-64.
- Burke LM, Close GL, Lundy B, et al. Relative Energy Deficiency in Sport in Male Athletes: A Commentary on Its Presentation Among Selected Groups of Male Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2018; 28: 364-74.
- Sundgot-Borgen J, Garthe I. Elite athletes in aesthetic and Olympic weight-class sports and the challenge of body weight and body compositions. *J Sports Sci* 2011; 29 Suppl 1: S101-14.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br J Sports Med* 2018; 52: 687-97.
- Otis CL, Drinkwater B, Johnson M, et al. ACSM Position Stand: The Female Athlete Triad. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: i-ix.
- Yeager KK, Agostini R, Nattiv A, et al. The female athlete triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25: 775-7.
- Joy E, De Souza MJ, Nattiv A, et al. 2014 female athlete triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad. *Curr Sports Med Rep* 2014; 13: 219-32.
- Tenforde AS, Barrack MT, Nattiv A, et al. Parallels with the Female Athlete Triad in Male Athletes. *Sports Med* 2016; 46: 171-82.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med* 2014; 48: 491-7.
- De Souza MJ, Koltun KJ, Williams NI. The Role of Energy Availability in Reproductive Function in the Female Athlete Triad and Extension of its Effects to Men: An Initial Working Model of a Similar Syndrome in Male Athletes. *Sports Med* 2019; 49: 125-37.
- De Souza MJ, Williams NI, Nattiv A, et al. Misunderstanding the female athlete triad: refuting the IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med* 2014; 48: 1461-5.
- Melin A, Tornberg AB, Skouby S, et al. Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2016; 26: 1060-71.
- Stubbs RJ, Whybrow S. Energy density, diet composition and palatability: influences on overall food energy intake in humans. *Physiol Behav* 2004; 81: 755-64.
- Rolls BJ. The relationship between dietary energy density and energy intake. *Physiol Behav* 2009; 97: 609-15.
- Benardot D. Energy Thermodynamics Revisited: Energy intake strategies for optimizing athlete body composition and performance. *PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud* 2013; 11: 1-14.
- Fahrenholtz IL, Sjödin A, Benardot D, et al. Within-day energy deficiency and reproductive function in female endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2018; 28: 1139-46.
- Torstveit MK, Fahrenholtz I, Stenqvist TB, et al. Within-Day Energy Deficiency and Metabolic Perturbation in Male Endurance Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2018; 28: 419-27.
- Bratland-Sanda S, Sundgot-Borgen J. Eating disorders in athletes: overview of prevalence, risk factors and recommendations for prevention and treatment. *Eur J Sport Sci* 2013; 13: 499-508.
- Joy E, Kussman A, Nattiv A. 2016 update on eating disorders in athletes: A comprehensive narrative review with a focus on clinical assessment and management. *Brit J Sports Med* 2016; 50: 154.
- Sundgot-Borgen J, Torstveit MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clin J Sport Med* 2004; 14: 25-32.
- Martinsen M, Sundgot-Borgen J. Higher prevalence of eating disorders among adolescent elite athletes than controls. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45: 1188-97.
- Currie A. Sport and eating disorders - understanding and managing the risks. *Asian J Sports Med* 2010; 1: 63-8.
- Turton R, Goodwin H, Meyer C. Athletic identity, compulsive exercise and eating psychopathology in long-distance runners. *Eating Behav* 2017; 26: 129-32.
- Torstveit MK, Fahrenholtz IL, Lichtenstein MB, et al. Exercise dependence, eating disorder symptoms and biomarkers of Relative Energy Deficiency in Sports (RED-S) among male endurance athletes. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2019; 5: e000439.
- Melin A, Tornberg AB, Skouby S, et al. Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2015; 25: 610-22.
- De Souza MJ, Lee DK, VanHeest JL, et al. Severity of energy-related menstrual disturbances increases in proportion to indices of energy conservation in exercising women. *Fertil Steril* 2007; 88: 971-5.
- Staal S, Sjödin A, Fahrenholtz I, et al. Low RMR(ratio) as a Surrogate Marker for Energy Deficiency, the Choice of Predictive Equation Vital for Correctly Identifying Male and Female Ballet Dancers at Risk. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2018; 28: 412-8.
- Jasienska G. Energy metabolism and the evolution of reproductive suppression in the human female. *Acta Biotheoretica* 2003; 51: 1-18.
- Elliott-Sale KJ, Tenforde AS, Parziale AL, et al. Endocrine Effects of Relative Energy Deficiency in Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2018; 28: 335-49.
- Allaway HC, Southmayd EA, De Souza MJ. The physiology of functional hypothalamic amenorrhea associated with energy deficiency in exercising women and in women with anorexia nervosa. *Horm Molecul Biol Clin Investig* 2016; 25: 91-119.
- Redman LM, Loucks AB. Menstrual disorders in athletes. *Sports Med* 2005; 35: 747-55.
- Maïmoun L, Georgopoulos NA, Sultan C. Endocrine disorders in adolescent and young female athletes: impact on growth, menstrual cycles, and bone mass acquisition. *J Clin Endocrinol Metab* 2014; 99: 4037-50.
- Klein DA, Poth MA. Amenorrhea: an approach to diagnosis and management. *Am Fam Phys* 2013; 87: 781-8.
- Shufelt CL, Torbati T, Dutra E. Hypothalamic Amenorrhea and the Long-Term Health Consequences. *Semin Reprod Med* 2017; 35: 256-62.
- Hackney AC, Hackney ZC. The exercise-hypogonadal male condition and endurance exercise training. *Curr Trends Endocrinol* 2005; 1: 101-6.
- Hackney AC, Lane AR. Low testosterone in male endurance-trained distance runners: impact of years in training. *Hormones (Athens, Greece)* 2018; 17: 137-9.
- Maïmoun L, Lumbroso S, Manetta J, et al. Testosterone is significantly reduced in endurance athletes without impact on bone mineral density. *Horm Res* 2003; 59: 285-92.
- Ratamess NA, Hoffman JR, Kraemer WJ, et al. Effects of a competitive wrestling season on body composition, endocrine markers, and anaerobic exercise performance in NCAA collegiate wrestlers. *Eur J Appl Physiol* 2013; 113: 1157-68.
- Stone JD, Kreutzer A, Mata JD, et al. Changes in Creatine Kinase and Hormones Over the Course of an American Football Season. *J Strength Cond Res* 2019; 33: 2481-7.
- Moore CA, Fry AC. Nonfunctional overreaching during off-season training for skill position players in collegiate American football. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 793-800.
- Hackney AC. Effects of endurance exercise on the reproductive system of men: the "exercise-hypogonadal male condition". *J Endocrinol Invest* 2008; 31: 932-8.
- Hooper DR, Tenforde AS, Hackney AC. Treating exercise-associated low testosterone and its related symptoms. *Phys Sportsmed* 2018; 46: 427-34.
- Scofield KL, Hecht S. Bone health in endurance athletes: runners, cyclists, and swimmers. *Curr Sports Med Rep* 2012; 11: 328-34.
- Papageorgiou M, Dolan E, Elliott-Sale KJ, et al. Reduced energy availability: implications for bone health in physically active populations. *Eur J Nutr* 2018; 57: 847-59.
- Southmayd EA, Mallinson RJ, Williams NI, et al. Unique effects of energy versus estrogen deficiency on multiple components of bone strength in exercising women. *Osteoporos Int* 2017; 28: 1365-76.
- Khosla S, Oursler MJ, Monroe DG. Estrogen and the skeleton. *Trends Endocrinol Metab* 2012; 23: 576-81.
- Keay N, Francis G, Hind K. Low energy availability assessed by a sport-specific questionnaire and clinical interview indicative of bone health, endocrine profile and cycling performance in competitive male cyclists. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2018; 4: e000424.
- Keay N, Francis G, Entwistle I, et al. Clinical evaluation of education relating to nutrition and skeletal loading in competitive male road cyclists at risk of relative energy deficiency in sports (RED-S): 6-month randomised controlled trial. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2019; 5: e000523.
- Sim M, Garvican-Lewis LA, Cox GR, et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur J Appl Physiol* 2019; 119: 1463-78.
- Petkus DL, Murray-Kolb LE, De Souza MJ. The Unexplored Crossroads of the Female Athlete Triad and Iron Deficiency: A Narrative Review. *Sports Med* 2017; 47: 1721-37.
- Shimizu K, Suzuki N, Nakamura M, et al. Mucosal immune function comparison between amenorrheic and eumenorrheic distance runners. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 1402-6.
- Drew M, Vlahovich N, Hughes D, et al. Prevalence of illness, poor mental health and sleep quality and low energy availability prior to the 2016 Summer Olympic Games. *Brit J Sports Med* 2018; 52: 47-53.

Allur heimildalistinn (1-89) er birtur með greininni á heimasíðu Læknablaðsins.