



Fasta og líkamspjálfun

Áhrif föstu á þjálfunaraðlaganir

Aron Bjarki Jósepsson



Líf- og umhverfisvísindadeild
Háskóli Íslands
2017

Fasta og líkamsþjálfun

Áhrif föstu á þjálfunaraðlaganir

Aron Bjarki Jósepsson

10 eininga ritgerð sem er hluti af
Baccalaureus Scientiarum gráðu í Líffræði

Leiðbeinandi
Atli Jósefsson

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, maí 2017

Fasta og líkamspjálfun: Áhrif föstu á þjálfunaraðlaganir
Fasta og líkamspjálfun
10 eininga ritgerð sem er hluti af *Baccalaureus Scientiarum* gráðu í Líffræði

Höfundarréttur © 2017 Aron Bjarki Jósepsson
Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Askja, Sturlugötu 7
101 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:
Aron Bjarki Jósepsson, 2017, *Fasta og líkamspjálfun: Áhrif föstu á þjálfunaraðlaganir*, BS
ritgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 33 bls.

ISBN XX

Prentun: Háskólaprent
Reykjavík, maí 2017

Útdráttur

Markmið: Að kanna áhrif þess að fasta samhliða líkamshjálfun og meta núverandi stöðu þekkingar á efninu.

Aðferð: Gerð var netleit til að finna heimildir um efnið, þar sem sérstaklega var leitað að fyrirfram ákveðnum breytum sem tengjast aðlögunum að líkamshjálfun. Að mestu voru notaðar niðurstöður úr vísindalegum rannsóknum. Einnig voru ýmis fræðirit notuð til þess að útskýra efnið betur.

Niðurstöður: Niðurstöður þessarar samantektar benda til þess að í einhverjum tilfellum sé hægt að ýta undir ákveðnar þjálfunaraðlaganir að loftháðri þjálfun með því að æfa í föstufasa. Núverandi þekking dugar ekki til að segja til um það hvort slíkt sé hægt þegar kemur að loftfirtri þjálfun og styrktarþjálfun. Niðurstöður benda til þess að líklega henti það karlmönnum betur en konum að fasta til að auka líkamlegt atgervi.

Ályktanir: Í einhverjum tilfellum geta æfingar í föstufasa hjálpað íþróttamönnum að auka frammistöðu sína, sérstaklega í loftháðum greinum. Mikilvægt er þó að huga að því að framkvæma föstuna rétt og undir réttum kringumstæðum.

Þörf er á frekari rannsóknum um efnið til að gefa betri sýn á það hvernig ákveðnar tegundir föstu henta best við vissar aðstæður o.s.frv.

Leitarorð: Tímabundin fasta, fasta, næring, HGH, þjálfunaraðlaganir, æfing í föstu, loftháð þjálfun, loftfirt þjálfun, styrktarþjálfun, áhrif föstu, VO_{2max} .

Abstract

Aim: To find out the truth about the effects fasting has on training adaptations if done while training and to assess the status of knowledge about the subject in today's world.

Methods: An internet search, using specific words related to various training adaptations, was conducted to find sources focusing on the subject. The results of scientific research papers were the main source of information used, although a few books were used to give the reader better insight on the subject.

Results: In general, the results seem to indicate that some adaptations to aerobic training can probably be further enhanced by training while fasted.

Today's knowledge on fasting alongside anaerobic and strength training is not sufficient to state whether similar enhancements are to be expected.

The results also seem to indicate that fasting for training improvements suits men significantly better than women.

Conclusions: In some occasions training while fasted can probably help athletes enhance their performance, especially in endurance sports. It is important to keep in mind that this only applies if applied correctly and under the right circumstances.

Further research on the subject is needed to shed a light on what kind of fasting (what times and how long) suits best for each individual, sport et.c.

Keywords: Intermittent fasting, time restricted feeding, VO_{2max} , fasting, feeding, HGH, Human Growth Hormone, training adaptations, fasted training, aerobic training, anaerobic training, resistance training, effects of fasting, training while fasted.

Efnisyfirlit

Myndir	vii
Töflur	vii
Skammstafanir	viii
Þakkir	ix
1 Inngangur.....	10
2 Aðferðir	12
3 Fasta og íþróttþjálfun	13
3.1 Almenn um íþróttir og næringu	13
3.2 Almennar þjálfunaraðlaganir	14
3.3 Lífeðlisfræði föstu	16
4 Niðurstöður	19
4.1 Áhrif föstu á afkastagetu	19
4.2 Áhrif föstu á loftháða getu	19
4.3 Áhrif föstu á loftfirrtu getu	21
4.4 Áhrif föstu á styrktarþjálfun	22
4.5 Áhrif föstu á endurheimt eftir æfingar	23
5 Umræður	25
6 Ályktanir	27
Heimildaskrá	28

Myndir

Mynd 1. Næringarþörf fullorðins manns milli orkugjafa.	13
Mynd 2. Sýnir hvernig HGH-styrkur eykst þegar fastað er	18
Mynd 3. Breyting á Citrate Synthasa og HAD	20

Töflur

Tafla 1. Sýnir nokkur af viðbrögðum líkamans við föstu í hvíld.....	18
---	----

Skammstafanir

ADP	Adenosine diphosphate
AMP	Adenosine monophosphate
AMPK	AMP háður kínasi
ATP	Adenosine triphosphate
CS	Citrate Synthase
eEF2	Eukaryotic elongation factor 2
eIF2B	Eukaryotic initiation factor 2B
FABp	Fatty acid binding protein
FADH₂	Flavin adenine dinucleotide
FAT/CD36	Fatty acid translocase
GHIH	Growth hormone-inhibiting hormone
GHRH	Growth hormone releasing hormone
GLUT4	Glucose transporter type 4
GSK3	Glycogen-synthase kinase 3
GTP	Guanosine triphosphate
HAD	Hydroxyaxyl-CoA dehydrogenase
HGH	Human Growth Hormone
HKII	Mitochondrial hexokinase II
HSL	Hormone-sensitive lipase
IGF-I	Insulin-like growth factor I
mTORC₁	Mammalian target of rapamycin complex 1
NADH	Nicotinamide adenine dinucleotide
PCr	Phosphocreatine
PKB	Protein kinase B
PO₂	Hlutþrýstingur súrefnis
p70^{S6k}	Phosphoprotein 70 ribosomal protein S6 kinase
VO₂	Súrefnisupptaka
VO_{2max}	Hámarkssúrefnisupptaka

Þakkir

Ég vil þakka leiðbeinenda mínum, Atla Jósefssyni, fyrir góða aðstoð og leiðsögn við gerð verkefnisins. Einnig vil ég þakka kærustu minni Dagnýju Björk og móður minni Guðrúnu Árnýju fyrir yfirlestur verkefnisins. Síðast en ekki síst vil ég þakka fjölskyldu minni og vinum fyrir alla þá þolinæði sem þau hafa sýnt mér og þá sérstaklega sonum mínum þeim Elfari Bjarka og Baldri Leó

1 Inngangur

Íþróttafólk hefur í tímans rás reynt ýmislegt til að bæta árangur sinn. Þannig hafa ýmsar æfingaaðferðir þróast með tíð og tíma. Með tímanum hefur einnig myndast meiri þekking á því hvað gerir íþróttamanninum gott og hvað ekki. Almenn er flestum orðið ljóst að mataræði spilar stórt hlutverk þegar kemur að almennri heilsu einstaklinga. Auk þess er heilbriggt mataræði mikilvægur þáttur í árangri í íþróttum (Rodriguez, Di Marco og Langley, 2009).

Alls kyns matarkúrar og leiðir til að auka líkur á góðum árangri í íþróttum og almennri heilsurækt hafa skotið upp kollinum, þar á meðal lágkolvetnamataræði, hráfæðismataræði og orkudrykkjaneysla. Algengustu leiðirnar til að bæta mataræðið eru að minnka magn ákveðinna fæðutegunda, telja kaloriur og minnka skammtastærðirnar (Wing og Phelan 2005).

Margir þeirra fæðukúra sem hafa sprottið upp hafa náð miklum vinsældum og orðið að einhvers konar tískufyrirbærum sem hafa komið og farið í bylgjum. Flestir þessara kúra eru notaðir sem leið til að létta sig og um leið bæta heilsuna.

Um þessar mundir virðist þó nokkuð algengt að einstaklingar noti tímabundna föstu (intermittent fasting) sem leið til þyngdarstjórnunar (Collier, 2013). Tímabundin fasta er þegar einstaklingur neytir ekki fæðu í ákveðið langan tíma. Lengd tímabundinnar fösu getur verið mjög misjöfn. Til dæmis tólf, sextán eða 24 klukkustundir.

Þær rannsóknir sem gerðar hafa verið á föstu hafa gefið nokkuð mismunandi vísbendingar. Fram hafa komið vísbendingar um að þetta geti hentað ákveðnum hópum sem leið að bættri heilsu. Einnig hafa komið fram vísbendingar um að tímabundin fasta geti í sumum tilfellum stutt við þjálfun íþróttamanna og til dæmis aukið árangur í þolgreinum vegna bættrar hámarkssúrefnisupptöku (VO_{2max}) og breytinga á þeim efnaskiptaferlum sem taka þátt í fituoxun og sykurbúskap (De Bock o.fl., 2008; Stannard, Buckley, Edge og Thompson, 2010; Van Proeyen, Szlufcik, Nielens, Ramaekers og Hespel, 2011). Sú vinnukenning hefur komið fram að regluleg neysla orkuefna (svo sem einfaldra kolvetna) í þjálfunarferlum geti truflað aðlögun efnaskiptanna að áreynslu. Einnig hefur því verið haldið fram að hentugt geti verið að „train low, compete high“. Það merkir það að æfa með lítið af kolvetnum í kerfinu en keppa með mikið af þeim (Hawley og Burke, 2010).

Nokkrir þessara fæðukúra sem einblína á tímabundna föstu hafa verið mikið í umræðunni upp á síðkastið. Þar má sem dæmi nefna Bulletproofmataræðið, 5:2 kúrin, 16/8 mataræði, Eat.Stop.Eat, Alternate-Day Fasting og The Warrior Diet.

Skiptar skoðanir hafa verið á þessum hugmyndum um það að fasta. Margir næringarfræðingar mæla með því að borða reglulega yfir daginn á meðan aðrir hafa sýnt fram á ýmsa kosti sem geti fylgt því að fasta tímabundið og reglulega (De Bock o.fl., 2008, Fríða Rún Þórðardóttir, 2003). Um þetta hefur verið rætt og ritað nokkuð mikið síðustu árin en þó vantar enn að stórum hluta fleiri rannsóknir og marktæk gögn um nákvæmlega hvaða áhrif það hefur á líkamann að fasta. Enn minna er til um það hvaða áhrif fasta hefur á íþróttafólk.

Margir fitness- og heilsugúrúar hafa haldið því fram að fastan geti veitt íþróttamönnum ákveðið forskot fram yfir aðra (Pilon, 2007). Því hefur meðal annars verið haldið fram að með því að fasta tímabundið samhliða þjálfun sé hægt að auka súrefnisupptöku (VO_2) sína í meira magni en annars. Eins hefur því verið haldið fram að notkun líkamans á orkugjöfum breytist þegar hann aðlagast því að fasta reglulega (De Bock o.fl., 2008; Stannard o.fl., 2010; Van Proeyen o.fl., 2011).

Annar ávinningur sem hefur verið nefndur í þessu samhengi er aukin seyting vaxtarhormónsins Human growth hormone (HGH) eftir ákveðinn tíma föstu (Nørrelund, 2005). Þetta umrædda vaxtarhormón er gríðarlega mikilvægur þáttur í vexti á unga aldri. Auk þess spilar HGH stórt hlutverk þegar kemur að líkamsrækt og því að byggja upp vöðva. Því ætti að vera ákjósanlegt fyrir sumt íþróttafólk að geta aukið magn HGH í blóði og hefur jafnvel borið á ólöglegri notkun (Robinson, 2010; Velloso, 2008).

Fjölmargir aðrir ákjósanlegir kostir þess að fasta hafa verið nefndir tengdir líkamspjálfun. Ofan nefndir eru hins vegar aðeins þeir sem eru hvað mest áberandi í umræðunni.

Þetta er ákaflega áhugavert efni og er það nokkuð ljóst að ef kenningar fylgdarmanna föstumatæðis reynast sannar muni þetta fyrirkomulag eiga eftir að verða þó nokkuð vinsælla.

En hvað er til í þessum kenningum? Hvaða lífeðlisfræðilegu ferlar eiga sér stað í líkamanum þegar líkaminn fær ekki næringu í ákveðinn tíma og hvaða áhrif hafa þeir á líkamann? Þetta eru lykilspurningar þegar kemur að því að meta hvort þessi leið henti einstaklingum í leit þeirra að betri árangri. Það fer auðvitað að miklu leyti eftir því hvert markmið einstaklingsins er.

Einnig er mjög áhugavert að skoða þessa þætti tengda hreyfingu og líkamspjálfun. Íþróttafólk þarf að huga sérstaklega vel að mataræðinu og einkum þegar komið er á ákveðið stig æfingaálags. Það þarf að gæta þess vel að fá rétta og næga næringu til þess að geta hámarkað frammistöðu sína í keppni og á æfingum.

Markmið þessa verkefnis er að leiða sannleikann í ljós um áhrif þess að fasta samhliða líkamspjálfun og taka stöðuna á þekkingu um efnið í fræðiheiminum í dag.

2 Aðferðir

Í upphafi var lagt upp með að skilgreina verkefnið og setja upp beinagrind sem hentaði sem best til að leiða lesendur á hentugan hátt í gegnum efnið.

Ákveðið var nákvæmlega hvaða áhrifaþætti ætti helst að einblína á og síðan var lagt upp með að safna gögnum sem gáfu skýrar og góðar vísindalegar upplýsingar um hvaða áhrif fasta hafi á líkamspjálfun íþróttafólks. Þegar því var lokið var hafist handa við öflun gagna. Það var gert með netleit þar sem fyrst og fremst var leitað að vísindagreinum og bókum sem tengdust á einn eða annan hátt umfjöllunarefni verkefnisins. Leitin átti sér stað með hjálp ýmissa leitarvéla og gagnasafna. Google var notað óspart auk þess sem notuð voru gagnasöfn eins PubMed, Journal of Physiology, Journal of Sports Science and Medicine og fjöldi annarra.

Reynt var eftir megni að nota greinar eða hluta úr greinum og bókum sem einblíndu á föstu undir 36 klst. Þó voru notaðar fáeinar vísindagreinar þar sem fjallað var um lengri og yfirgripsmeiri föstur. Þær greinar voru þó sérstaklega valdar vegna þess að þær áttu vel við í ákveðna kafla verkefnisins.

Mest áhersla var lögð á að leita að greinum sem gáfu vísbendingar um samband milli föstu og breytinga á VO_2 , VO_{2max} , breytta ensímvirkni og seytingu vaxtarhormónsins HGH. Hins vegar var einnig leitað eftir greinum sem fjölluðu um aðra þætti föstu. Við gerð kafla 3.3. um lífeðlisfræði föstu var leitað ítarlega að sem flestum greinum sem gæfu vísbendingar eða sannanir um hvaða almennu lífeðlisfræðilegu þættir ættu sér stað við föstu. Við gerð þess kafla var meðal annars leitað að greinum sem sýndu fram á hormónabreytingar og breytta ensímvirkni tengda föstu.

Við gerð kafla 3.1. um almenna næringu íþróttafólks var mest einblínt á að leita að upplýsingum í bókum um hentuga næringu fyrir íþróttafólk. Til þess að gefa lesendum aðeins betri innsýn í helstu ferlin sem fylgja fæðunámi var einnig leitað í bókum sem lýsa því hvernig líkaminn nýtir fæðuna.

Í kafla 3.2. sem fjallar um almennar þjálfunaraðlaganir voru að mestu notaðar kennslubækur úr lífeðlisfræði til að gera grein fyrir því hvernig mismunandi orkukerfi virka. Einnig var sýnt fram á almennar aðlaganir að þjálfun til að veita samanburð við aðalumfjöllunarefni verkefnisins, aðlaganir líkamans að líkamspjálfun samhliða föstu.

Að lokum er greint frá aðlögunum mismunandi líkamspjálfunar samhliða föstu í niðurstöðuhluta verkefnisins. Í þeim hluta var reynt eftir mesta megni að nota aðeins vísindagreinar og niðurstöður rannsókna sem tengdust efninu.

Helstu leitarorðin sem notuð voru við leit að heimildum voru: Intermittent fasting, time restricted feeding, VO_{2max} , fasting, feeding, HGH, Human Growth Hormone, training adaptations, fasted training, aerobic training, effects of fasting, training while fasted og mörg önnur orð.

3 Fasta og íþróttabjálfun

3.1 Almennt um íþróttir og næringu

„Til þess að góður árangur náist í íþróttum er hollt mataræði, næg vatnsdrykkja og reglulegar máltíðir jafn mikilvægt hverjum íþróttamanni og æfingarnar sjálfar“ (Fríða, 2003).

	he	grömm	%
Orka	3000	-	100
Kolvetni	1500-1800	375-450	50-60
Fita	750-900	83-100	25-30
Prótein	300-450	75-112	10-15

Mynd 1. Næringarþörf fullorðins manns milli orkugjafa (Fríða, 2003).

Þegar íþróttamenn eru fræddir um hentuga næringu fyrir íþrótt sína eru yfirleitt sömu dæmigerðu þættirnir kynntir fyrir þeim. Samkvæmt blöðungi Íþróttá- og Ólympíusambands Íslands um næringu ætti að skipta næringunni niður í þrjá aðalþætti: Kolvetni, fitu og prótein (Mynd 1). Einnig er mjög algengt að mælt sé með því að borða oft og minna í einu, það er ekki láta of langan tíma líða á milli máltíða (Fríða, 2003).

Helsta markmið hvers íþróttamanns er að sér líða sem best þegar hann stundar íþrótt sína og hann nái sem bestum árangri. Mataræðið er stór hluti af því að íþróttamaðurinn hafi orku og getu til þess að stunda íþrótt sína. Misjafnt er eftir einstaklingum og íþróttagreinum hver markmið íþróttamannsins eru í tengslum við líkamsrækt og líkamsmynd. Sumir vilja einfaldlega léttast og líða betur. Aðrir vilja byggja upp vöðva til að geta búið til meiri kraft. Enn aðrir vilja auka súrefnisupptöku og orkunýtingu til að geta hlaupið lengra.

Mismunandi íþróttir krefjast mismunandi líkamsbyggingar og orkunotkunar. Til dæmis þarf maraþonhlaupari ekki að hafa jafn miklar áhyggjur af vöðvauppbyggingu og spretthlauparinn. Helsta markmið maraþonhlauparans er að geta hlaupið lengi á stöðugum hraða. Helsta markmið spretthlauparans er að hlaupa eins hratt og hann mögulega getur yfir stutta vegalengd. Hann þarf á mikilli kraftmyndun að halda frá vöðvum sínum og þarf því að byggja upp vöðvamassa til þess að hámarka frammistöðu sína. Mataræði íþróttamanna er einnig sniðið að þörfum einstaklingsins og í dag er flestum íþróttamönnum orðið vel ljóst að rétt mataræði er lykill að góðum árangri í íþróttum.

Ráðlögð neysla af kolvetnum er 45-60% af heildarorku, viðbættur sykur ætti að vera undir 10% af heildarorku og trefjaneysla ætti að vera 25-35 g á dag (Embætti landlæknis, 2016).

Kolvetni eru sykrur og formúla þeirra er $(CH_2O)_n$. Sykra sem er ein slík eining nefnist einsykra. Tvísykrur eru tvær slíkar einingar tengdar saman. Fásykra eru 3-9 slíkar einingar tengdar saman. Fjölsykrur eru 10 eða fleiri slíkar einingar tengdar saman. Algengustu einsykrurnar eru: glúkósi, frúktósi og galaktósi (Insel, 2004).

Lítið magn af kolvetnum er geymt í orkubirgðum líkamans (Insel, 2004). Algengt er að mælt sé með því að hlaða sig upp af kolvetnum fyrir keppni (Fríða, 2003).

Ráðlögð próteinneysla er 10-20% af heildarorku (Embætti landlæknis, 2016). Í sumum tilfellum, og þá sérstaklega í tilfellum íþróttafólks er próteinþörfin þó hærri. Það sem helst hækkar próteinþörf einstaklinga er vöðvauppbygging, oxun aminosýra á meðan æfingu stendur og neikvætt köfnunarefnis (N)-jafnvægi eftir styrktaræfingu. Hægt er að nota köfnunarefnisjafnvægi til þess að meta hvort að próteininntaka sé nægjanleg. Ef útskilnaður köfnunarefnis er meiri en inntaka þá er neikvætt köfnunarefnisjafnvægi. Það þýðir að líkaminn er að tapa próteini (Insel, 2004).

Fyrir íþróttafólk er neysla próteina mjög mikilvæg. Þá er magn próteininntöku ekki aðeins það sem skiptir máli. Einnig skiptir tímasetning próteininntökunnar miklu. Það getur haft jákvæð áhrif á vöðvauppbygginu að neyta próteina 0-3 klst eftir æfingu. Einnig getur próteinneysla fyrir æfingu haft jákvæð áhrif því þá eru aminosýrurnar til staðar um leið og æfingunni lýkur (Insel, 2004; Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Ráðlögð neysla af fitu er 25-40% af heildarorku og þá skiptir tegund fitusýra máli. Hlutfall mettaðra fitusýra ætti að vera minna en 10% af heildarorkunni og neysla á transfitusýrum ætti að vera mjög takmörkuð. Omega-3 fitusýrur ættu að vera að minnsta kosti 1% af heildarorkunni (Embætti landlæknis, 2016).

Fita úr fæðu samanstendur af þrigglýseríðum, fosfólípíðum og kólesteróli. Fitan er mjög mikilvægur partur af frumuhimnunni. Fitan kemur auk þess við sögu í þroskun miðtaugakerfisins, bólgueyðandi ferlum og endurnýjun fruma (Cristophe og Vriese, 2000).

Melting er ferli sem felur í sér í umbreytingu á fæðunni í það form sem smáþarmarnir geta frásogað (Boron, 2012). Mismunandi líffæri og vefir í meltingarvegi hjálpa til við að brjóta niður og frásoga fæði úr meltingarveginum. Maginn blandar fæðunni og tæming tekur frá 1-4 klst., allt eftir því hvaða næringarefni eru í maganum.

Maginn inniheldur magasýru sem tekur þátt í því að afmynda (denature) prótein og undirbúa fyrir frekari meltingu (Insel, 2004; Purves, 2003). Stærstur hluti meltingar og frásogs fer fram í smáþörmum líkamans. Meltingin fer þó að miklu leyti fram í skeifugörninni og frásogið í ás- og dausgörn (Boron, 2012).

Gall, bris og þarmaensím taka öll þátt og vinna saman í ferli meltingar. Í brissafanum eru óvirk ensím sem eru virkjuð og taka þátt í niðurbroti orkuefnanna. Þau eru trypsín, chymotrypsín og karboxypeptíðasi. Trypsín er virkjað af ensímum úr þekjufrumum. Það virkjar því næst chymotrypsín og karboxypeptíðasa. Chymotrypsín ræðst á próteinkeðjurnar og brýtur þær niður og karboxypeptíðasi klýfur af aminosýrum með lausan COOH enda (Boron, 2012).

Fituefni hafa þann eiginleika að vera leysanleg í lífrænum leysum en óleysanleg í vatni. Þessi eiginleiki hefur áhrif á meltingu þeirra, frásog og flutning í blóði (Cristophe og Vriese, 2000). Við meltingu á fitu eru brissafi og gall nauðsynleg. Gallblaðran seytir gallvökva í skeifugörn. Gallsölt búa til ýrulausn með fitu sem veldur því yfirborð fitunnar eykst. Brislípasi getur þá unnið á yfirborði fitudropanna til þess að melta fituna. Brislípasi klýfur fituna í einglýseríð og fríar fitusýrur. Við það ferli myndast fitukirni (micelles), litlir fitudropar sem innihalda einglýseríð, fríar fitusýrur, gallsölt og önnur fituleysanleg efni (Johnson, 2003).

Meltingin klárast loks í smáþörmum. Þar eru ensím sem brjóta stuttar aminosýrukeðjur í dí- og trípeptíð sem frásogast í þarmafrumum. Tvísýkrur eru brotnar niður í einsýkrur sem frásogast í smáþörmunum. Aminosýrur og einsýkrur sem búið er að frásoga eru fluttar með portæð til lifrar. Það sem frásogast ekki í smáþörmunum fer í ristilinn (Boron, 2012; Insel, 2004).

3.2 Almennar þjálfunaraðlaganir

Við þjálfun og áreynslu þarfnast frumurnar ATP (Adenosine triphosphate) til að knýja kerfið áfram. Til að framleiða ATP notar líkaminn eitt eða fleiri af þremur grunnorkukerfum. Þau eru loftháða kerfið og loftfirrtu kerfin glýkólýsu-kerfið og ATP-PCr (Adenosine triphosphate –

Phosphocreatine)-kerfið. Þegar líkaminn fer á fullan sprett í byrjun æfingar notast hann við ATP-PCr kerfið. Þar binst P(fosfat) af PCr við ADP (Adenosine diphosphate) og myndar ATP. Þetta er skammvinnt ferli. Aðeins lítið magn er geymt af ATP-PCr í líkamanum, þannig að það þarf sífellt að framleiða meira. Samanlagt magn ATP-PCr kerfisins getur því aðeins staðið undir orkuþörf vöðvanna í 3-15 sekúndur í fullum spretti þar sem unnið er á hámarksákefð. Sykurofskerfið (Glycolytic) framleiðir orku með því að kljúfa glúkósa. Í glýkólýsu ferlinu myndar líkaminn annað hvort 2 ATP úr glúkósa eða 3 ATP úr glýkógeni með notkun ýmissa ensíma (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Með notkun þessara tveggja loftfirrtu kerfa, ATP-PCr og sykurofskerfisins, getur líkaminn unnið af miklum krafti í stuttan tíma, til dæmis í byrjun langrar, erfiðrar æfingar. Loftháða kerfið er flóknast þessara kerfa og á sér stað í hvatberum. Loftháða kerfið myndar ATP með því að brjóta niður efni með hjálp súrefnis. Þessi efni eru aðallega kolvetni, fita og prótein. Loftháða kerfið er lengi í gang en getur framleitt miklu meira af orku til lengri tíma en loftfirrtu kerfin. Það tekur um 60 til 80 sekúndur að fara í gang en er aðalleið líkamans til orkumyndunar í greinum sem endast í rúmlega 60 sekúndur til þriggja klukkustunda langra greina (Bompa og Buzzichelli, 2015). Við myndun ATP úr kolvetnum notar loftháða kerfið aðallega þrjár leiðir; Glýkólýsu, krebs-hringinn og rafeindaflutningskeðju.

Glýkólýsa loftháða kerfisins er í raun alveg eins og glýkólýsa loftfirrtu kerfisins. Eini munurinn er hliðarafurðin sem myndast í hvarfinu. Í tilfelli loftháða kerfisins myndast acetyl CoA en við notkun loftfirrtu kerfisins myndast mjólkursýra. Acetyl CoA efnið fer síðan í krebs-hringinn þar sem því er breytt í GTP (Guanosine triphosphate). GTP gefur síðan P til ADP og úr verður meira ATP. Rafeindaflutningskeðjan myndar síðan enn meira af ATP með notkun H^+ jóna og NADH(Nicotinamide adenine dinucleotide) og $FADH_2$ (Flavin adenine dinucleotide) sem myndast í krebs-hringnum (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Myndun ATP úr fitu er hins vegar miklu hagstæðari. Upphaf myndunar ATP, með otkun fitu í gegnum loftháða orkukerfið, á sér stað með notkun ferlis sem kallast β -oxun. Því næst á sér stað ATP-myndun með krebs-hringnum og rafeindaflutningskeðju. Við ATP-myndun úr fitu myndast alltaf meiri acetyl CoA sem fer svo aftur inn í krebs-hringinn. Það er ástæðan fyrir því að það er hagstæðara að notast meira við efnaskipti fitu en glúkósa efnaskipti. Glúkósi getur myndað 32 ATP einingar en fita gæti framleitt í kringum 100 einingar af ATP (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Við alla líkamsrækt má búast við aðlögun líkamans að því áreiti sem hann verður fyrir. Sú aðlögun sem á sér stað er algjörlega bundin því hvers eðlis áreitið er. Það má til dæmis ekki búast við sömu lífeðlisfræðilegu aðlögunum líkamans að loftfirtri þjálfun og loftháðri þjálfun. Líkaminn aðlagast því áreiti sem hann verður fyrir til þess að geta unnið sem best við þau skilyrði sem hann er settur í (Bompa og Buzzichelli, 2015).

Í grófum dráttum er hægt er að skipta þjálfun niður í þrjá flokka: Loftháð þjálfun, eins og maraþon hlaup; loftfirrt þjálfun, til dæmis 100 metra spretthlaup; og styrktarþjálfun, eins og kraftlyftingar. Í flestum íþróttum koma allar þessar tegundir þjálfunar við sögu. Til þess að skoða aðlaganir líkamans að hverri þjálfunaraðferð er þó gott að skipta þessu svona niður (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Aðlaganir líkamans að loftháðri þolþjálfun eru fjölmargar og eiga það flestar sameiginlegt að vera mjög hagstæðar fyrir heilsu einstaklings. Þessar aðlaganir eru meðal annars aukin VO_{2max} , stækkun hjarta, meira slagmagn (bæði í hvíld og á æfingu) og minni hjartsláttartíðni í hvíld (Bompa og Buzzichelli, 2015; Kenney, Wilmore og Costill, 2015). Hámarkshjartsláttartíðni breytist yfirleitt ekki við æfingu. Hins vegar getur það gerst að til að auka hjartaafköst lækki hámarkshjartsláttur örlítið og leyfi þannig hjartanu að pumpa meira blóði í hverju slagi í staðinn. Hámarkshjartaafköst hækka yfirleitt töluvert (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Þolþjálfun hefur líka áhrif á efnaskipti líkamans. Líkaminn aðlagar sig að henni með því að stækka og fjölga hvatberum sem eru orkustöðvar loftháða kerfisins. Einnig eykst starfsemi loftháðra ensíma mjög mikið við þolþjálfun og orkubúskapurinn breytist þannig að hann geti bæði geymt meira af glúkógeni og notað meira af fitu til orkumyndunar. Mjólkursýra myndast í minna mæli og mjólkursýruþröskuldur verður þar af leiðandi hærri (það er við meira álag) en fyrir þolþjálfun (Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

Helstu aðlaganir líkamans að loftfirtri þjálfun er stækkun vöðvafruma IIa og IIx. Styrkur eykst og loftfirt geta eykst líka. Hámarksmjólkursýra eykst og virkni loftfirtu ensímanna eykst líka, þó aðallega sykurofsensímanna í glýkólýsu-kerfinu.

Aðlaganir líkamans að styrktarþjálfun eru tvenns konar, taugaaðlögun og vöðvaaðlögun. Báðar aðlaganirnar fela í sér meiri styrktaraukningu (Bompa og Buzzichelli, 2015; Kenney, Wilmore og Costill, 2015).

3.3 Lífeðlisfræði föstu

Breyttar aðstæður kalla á breytta hegðun. Takmörkuð fæðuinntaka eða breyttar tímasetningar fæðuinntöku kalla þannig á breytingar í starfsemi líkamans. Hann þarf að aðlagast því að framleiða orku með minna framboð af orkugjöfum en vanalega. Í spendýrum virkjast AMP (adenosine monophosphate)-virkjaðir kínasar (AMPK) við föstu. Þeir eru fjölskylda af serine/threonine-kinösum sem eru einna helst virkjaðir vegna skorts á ATP og aukningu á AMP. Þegar AMPK hafa virkjast fosfórylera þeir fjölmörg efnaskiptaensím og umritunarþætti. Þetta leiðir til þess að anabólískir ferlar eru bældir, glúkósaupptaka er örvuð og oxun fitusýra er einnig örvuð. Á þennan hátt viðhelst stöðugur ATP-styrkur í frumum (Gonzalez o.fl., 2004).

Eins og áður hefur komið fram eru glúkósi og fita mikilvægustu orkugjafar líkamans. Fyrst er glúkósinn notaður en ef hann er ekki til staðar er gripið til þess að nota fituna sem orkugjafa.

Þegar fæðuinntaka á sér stað fara fjölmargir ferlar í gang til að nýta næringuna og orkuna úr fæðunni. Sama gildir um það þegar ekki er borðað, þ.e. fastað. Mannskepnan hefur ákveðna getu til þess að aðlaga sig að þeim aðstæðum þegar fæða berst ekki (Wijngaarden, 2015). Hún breytir hegðun sinni á hátt sem kalla mætti einhvers konar aðlögun að því að fá ekki fæðu. Viðbrögð verða vegna skorts á næringu. Þá er ýmsum ferlum breytt, eins og hormónastýringu og efnaskiptaferlum.

Sýnt hefur verið fram á að í föstu fari líkaminn í einhvers konar sparnaðarham, þar sem hann leitast við að hægja á öllu kerfinu og spara með því orku. Útfall hjarta, hjartsláttur og blóðþrýstingur lækka öll (Azevedo, Ikeoka og Caramelli, 2013; Ordway, Schwartz og Frazer, 2007).

Við fæðuinntöku eykst insúlínlosun frá brisi. Þetta veldur upptöku glúkósa í vefjum. Þessi glúkósi er síðan notaður að hluta sem orkugjafi en hinn hlutinn sem ekki er notaður strax er geymdur í lifrinni sem glúkógen (Summerfield, 2014). Glúkósi og glúkógen eru brotin niður í píruvatsýru í ferli sem kallast glýkólýsa. Þegar súrefni er ekki til staðar er píruvatsýrunni breytt í mjólkursýru en þegar nóg er af súrefni er í efnaskiptunum er píruvatsýrunni breytt í acetyl CoA sem fer síðan inn í krebs-hringinn og er notað við fituframleiðslu (Kenney, Wilmore og Costill, 2015)

Eftir nokkurra klukkustunda föstu hefur insulínstyrkur lækkað töluvert. Strax eftir föstu yfir nótt er hægt að greina aukið niðurbrot á glúkógenbirgðum úr lifur yfir í glúkósa í gegnum ferli sem kallast gluconeogenesis. Þessar birgðir af glúkógeni eiga að geta nýst í tæpan sólarhring frá upphafi föstu (Kahn, 2005).

Fastan virðist hafa talsverð áhrif á val líkamans á orkugjöfum. Rannsóknir hafa sýnt fram á að í föstufasa aukast virkni ensíma sem sérhæfa sig í því að brenna fitu. Líkaminn virðist sérstaklega velja að brenna meiri fitu þegar æft er í föstu (De Bock o.fl., 2008).

Ensim eins og FABp (fatty acid-binding protein), FAT/CD36 (Fatty acid translocase/CD36) og HSL (Hormone-sensitive lipase) í kerfinu sýna meiri virkni eftir æfingu í föstu en venjulega æfingu (Chen o.fl., 2017). FABp er talið styðja við og hvetja flutning long-chain-fítusýra (long-chain fatty acid) milli fituhimna (Kaikaus, Bass og Ockner, 1990). FAT/CD36 er himnuviðtaki sem leyfir upptöku langra fítusýra í vöðvum og fituvef (Noushmehr o.fl., 2005). HSL hvatar hraðatakmarkandi þáttinn í niðurbroti fitu (Large o.fl., 1998). Aukning þessara ensíma bendir til aukinnar brennslu á fitu sem orkugjafa.

Önnur aðlögun að líkamsstarfsemi án matar eru meðal annars breytingar á seytingu hormóna. Fastan hefur meðal annars áhrif á Nor-adrenalín, Human Growth Hormone (HGH) og fleiri hormón.

Líkaminn byrjar að ganga á fituforðann sinn í meira mæli en venjulega eftir 14-20 klst föstu (Samra, Clark, Humphreys, Macdonald og Frayn, 1996). Í rannsókn Zauner og féлага á grunnbrennslu var fylgst með hvíldarorkueyðslu í tengslum við aukið magn noradrenalíns í serm eftir 1-5 daga föstu. Sú rannsókn gaf til kynna að þessi aukning noradrenalíns í kerfinu leiði til meiri grunnbrennslu. Noradrenalín er hormón sem hefur einmitt verið notað í ýmsum lyfjum fyrir einstaklinga með hættulega lágan blóðþrýsting. Seytun noradrenalín er minnst í svefni en hækkar mikið þegar einstaklingur vaknar. Mest er seytun hormónsins þó þegar þegar mikið stress er í gangi eða þegar hætta steðjar að (Ordway o.fl., 2007; Zauner o.fl., 2000).

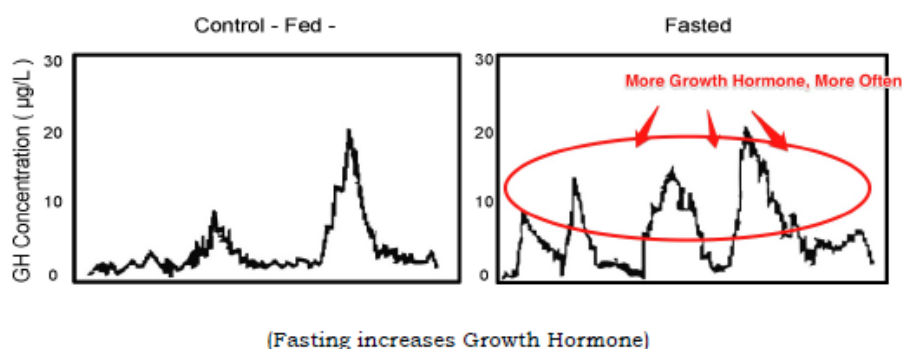
Það má því ef til vill geta sér til um það að orkueyðslan við hreyfingu eða vinnu væri þá líka meiri í föstu ástandi en eftir að hafa borðað fyrirfram þar sem magn noradrenalíns er þá líka hærra (Zauner, 2000).

Lengi hefur verið vitað að vaxtarhormóninu HGH sé sérstaklega seytt í svefni. Þegar gerðar voru frekari rannsóknir á því kom það í ljós að seyting þess eykst töluvert þegar fastað er (Ho o.fl., 1988). Seyting HGH eykst fimmfalt með tveggja daga föstu í ungum karlmönnum. Ekki er nákvæmlega ljóst hvernig efnaskipta- og hormónaferlarnir sem valda þessu virka þegar fastað er. Áður var talið að HGH-seytun væri einhvers konar myndefni mótverkandi áhrifa GHRH (Growth hormone releasing hormone) í undirstúku og GHIH (Growth hormone-inhibiting hormone) frá heiladingli, auk neikvæðrar afturverkunar með Insulin-like Growth Factor I (IGF-I) (Nørrelund, 2005).

Aðrar rannsóknir hafa hins vegar sýnt fram á að ghrelin hormón er einn aðalþátturinn sem hefur áhrif á aukna seytingu HGH við föstu. Ghrelin-magn í blóði hækkar fyrir máltíð og lækkar mikið eftir máltíð. Þetta gefur vísbendingar um að ghrelin sé einn aðaldrífkraftur aukinnar HGH-seytingar í föstu (Muller o.fl., 2002).

Síðan var sýnt fram á að hóflegur skammtur af GHIH minnkaði ghrelin-styrk talsvert. Þetta bendir þá til þess að aukin seyting HGH í föstu sé ekki til komin vegna örvunar frá ghrelin. Ekki er enn vitað almennilega hvert hlutverk ghrelins er við stýringu HGH-seytingar (Nørrelund, 2005).

24 Hour Profiles of Serum GH Concentrations



Mynd 2. Sýnir hvernig HGH-styrkur eykst þegar fastað er (Pilon, 2007).

Einn af helstu þekktu áhrifum HGH er að hormónið veldur aukinni myndun IGF-I sem ásamt HGH hefur örvandí áhrif á vöxt vöðva og líkamans í heild sinni (Velloso, 2008). Auk þess að auka vöðvamassa hefur HGH þau áhrif að minnka líkamsfitu. HGH hefur í dag orðið eitt af þeim efnum sem fólk hefur notað ólöglega í þeirri von að ná betri árangri í íþrótt sinni eða heilsurækt (Robinson, 2010). VO_2 er enn einn þáttur sem hefur verið talað um að líkaminn breyti til að aðlagast sig að þessum breyttu aðstæðum. Sýnt hefur verið fram á með tilraunum á spendýrum að þau minnki VO_2 meira eftir því sem lengra er liðið frá síðustu máltíð. Þetta er talin vera ein leið líkamans til þess að lágmarka vinnu þegar lítið er af orkugjöfum til að vinna á. Rannsókn Griggio og félagar á músum sýndi að súrefnisupptaka þeirra minnkaði um 16% frá 0-12 klukkustunda föstu. Enn fremur sýndi hún að VO_2 minnkaði um 12% frá 12-48 klukkustunda föstu (Griggio, Luz og Carvalho, 1992).

Tafla 1. Sýnir nokkur af viðbrögðum líkamans við föstu í hvíld.

	Viðbrögð við föstu	Heimild
Hjartsláttartíðni	Lækkar	(Azevedo, 2013)
Hjartaafköst (Cardiac Output)	Minnkar	(Azevedo, 2013)
Insúlín-styrkur	Minnkar	(Kahn, 2005)
Fitubrennsla	Eykst	(Samra, 1996) (De Bock, 2008)
Súrefnisupptaka (VO_2)	Minnkar	(Griggio, 1992) (Yokogawa, 2007)
Noradrenalín-framleiðsla	Eykst	(Ordway, 2007)
HGH (human growth hormone)-framleiðsla	Eykst	(Ho, 1988)

4 Niðurstöður

4.1 Áhrif föstu á afkastagetu

Rannsókn Griggio og féлага á músum sýndi fram á að súrefnisupptaka minnkaði eftir því sem lengra er komið í föstuna (Griggio o.fl., 1992). Þær niðurstöður vekja upp spurningar um hvaða aðlaganir eiga sér stað í súrefnisupptöku einstaklinga ef æft er í því ástandi.

Það hefur lengi verið talað um að þegar íþróttamenn æfa sérstaklega hátt yfir sjávarmáli, þá hafi það neikvæð áhrif á VO_{2max} og submaximal-loftháða frammistöðu (Kenney, Wilmore og Costill, 2015). Það er talið vera vegna minna aðgengis líkamans að súrefni. Þó að munurinn á hlutfalli O_2 í andrúmsloftinu við sjávarmál og á hlaupabraut 3.000 metrum yfir sjávarmáli sé enginnhefur líkaminn minna aðgengi að súrefni eftir því sem ofar dregur. Í meiri hæð yfir sjávarmáli er hlutþrýstingur súrefnis (PO_2) lægri. Þessi lækkun á PO_2 veldur því að flutningur súrefnis frá blóði til vöðva verður töluvert hægari. Þessi staðreynd ásamt öðrum aðlögunum, eins og lægra hámarksútfalli hjarta, veldur því að afkastageta líkamans á VO_{2max} og submaximal álagi er lakari við meiri hæð yfir sjávarmáli (Kenney, Wilmore og Costill, 2015). Á heimsmeistaramótinu í knattspyrnu 2010 í Suður-Afríku var gerð rannsókn á frammistöðu leikmanna sem spiluðu á knattspyrnuvöllum við sjávarmál og allt að 1753 metrum yfir sjávarmáli. Niðurstaða þeirrar rannsóknar var sú að leikmenn sem spiluðu á völlum í 1200-1753 metrum yfir sjávarmáli hlupu að meðaltali 3,1% minna í leikjum en þeir leikmenn sem spiluðu á völlum við sjávarmál (Nassis, 2013).

Þessu má ef til vill líkja við ástand líkamans þegar hann fastar að einhverju leyti. Súrefnisflutningur í blóði til vöðvanna er hægari og útfall hjarta er minna (Waalder, Eriksen og Janbu 1990).

Rannsóknir hafa sýnt fram á það að æfa á fastandi maga hafi einnig neikvæð áhrif á afkastagetu íþróttamannsins. Sem dæmi má nefna afkastagetu íþróttamanna sem aðhyllast íslamstrú og fasta í Ramadan-mánuðinum (Chaouachi, Leiper, Chtourou, Aziz og Chamari, 2012).

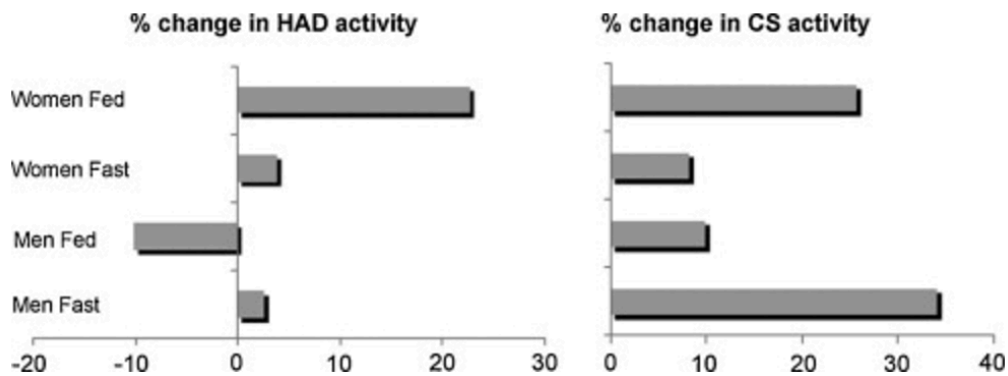
Því hefur þó verið haldið fram að þjálfun bæði í föstuástandi og við lægri hlutþrýsting súrefnis geti verið gagnlegar fyrir íþróttamenn og geti aukið frammistöðu í keppni ef rétt er farið að (Ingkjær og Myhre, 1992; Stannard o.fl., 2010).

4.2 Áhrif föstu á loftháða getu

Við mælingar á loftháðri getu eru tvö próf vinsælust í heiminum í dag. Það eru VO_{2max} -próf og mjólkursýruþröskuldspróf.

Misjafnar niðurstöður hafa gefist með því að skoða bætingar á VO_{2max} í tengslum við æfingar í föstu (De Bock o.fl., 2008; Stannard o.fl., 2010; Van Proeyen o.fl., 2011). Í rannsókn Stannard og féлага á aðlögunum beinagrindarvöðva þar sem borin er saman úthaldsþjálfun í „fed“ástandi á móti úthaldsþjálfun eftir föstu yfir nótt er því haldið fram að reglulegar æfingar í föstu geti flýtt ýmsum þekktum lífeðlisfræðilegum aðlögunum að úthaldsþjálfun. Niðurstöður þeirrar rannsóknar voru meðal annars þær að VO_{2max} -aukning var meiri ef æft var eftir föstu yfir nótt. Aukningin var 9,7% meðal hópans sem fastaði og 2,5% hjá hópnum sem fastaði ekki. Það er því töluverður munur. Annað sem kom fram í þessari rannsókn Stannard og féлага var að glýkógenmagn í framanlærisvöðvi (quadripec) vöðva (sá vöðvi sem mest var notaður í æfingunum) mældist 54,7% hærri hjá fastandi hópnum en aðeins 2,9 % hærri hjá hópnum sem fastaði ekki (Stannard o.fl., 2010).

Annað sem var áhugavert í þessari rannsókn er mismunandi aukning Citrate synthase (CS) milli kynja. CS er hvatbera ensím sem tekur virkan þátt í krebs-hringnum. Mynd 3 sýnir hvernig fastandi karlar juku CS-virkni miklu meira en þeir sem föstuðu ekki. Þessu er hins vegar öfugt farið meðal kvenna. Þar varð aukningin á CS-virkni meiri meðal þeirra kvenna sem föstuðu ekki fyrir æfingar (Stannard, 2010). Einnig jókst virkni á 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase (HAD) meira meðal kvenna og enn frekar ef þær voru ekki fastandi. Aftur á móti hentaði það körlunum betur að fasta ef auka átti HAD-virkni. Aukning átti sér í raun aðeins stað ef æft var í föstu (sjá mynd 3). HAD er ensím sem hvatar fituefnaskiptaferla. Fjölmargar rannsóknir hafa sýnt fram á að loftháð geta vöðva aukist með auknu magni og virkni oxunarensímanna (Joyner og Coyle, 2008; Kenney, Wilmore og Costill, 2015; Stuewe, Gwartz, Agarwal og Mallet, 2000). Þessi munur á niðurstöðum fyrir karla og konur bendir til þess að æfingar í föstu séu árangursríkari kostur fyrir karla frekar en konur. Karlar geta sem sagt bætt loftháða getu sína meira en ella með því að fasta. Konur auka hins vegar þessi oxunarensím meira ef þær borða vel fyrir æfingu.



Mynd 3. Breyting á Citrate Synthasa og HAD (Stannard o.fl., 2010).

Í svipaðri rannsókn Van Proeyen og félagar jókst VO₂max jafn mikið í hópnum sem fastaði og þeim sem fastaði ekki. Það eru aðrar niðurstöður en hjá Stannard og félagar. Rannsókn Van Proeyen leiddi hins vegar í ljós að æfing á fastandi maga er áhrifaríkara til að auka „muscular oxidative capacity“, það er hámarksrymd vöðvans til að nota loftháða öndun til orkumyndunar. Það geti síðan mögulega verið að þessa aukna loftháða geta vöðvans leiði til betri loftháðrar frammistöðu (Van Proeyen o.fl., 2011).

Grein De Bock og félagar greinir síðan frá því að VO₂max eykst jafn mikið þegar æft er fastandi og ekki fastandi. Niðurstöður rannsóknarinnar voru á þá leið að ensímin HKII (Mitochondrial hexokinase II), GLUT4 (Glucose transporter type 4) og FABp jukust marktækt meira ef fastað var fyrir æfingu. Aðalniðurstaða þeirrar rannsóknar var þó sú að glýkógeniðurbrot minnkaði við æfingu í fastandi ástandi og að ensím tengd fituoxun jukust einnig (De Bock o.fl., 2008).

Það virðist vera gegnumgangandi í flestum rannsóknnum sem skoða áhrif föstu á ensím loftháða orkukerfisins að í það minnsta meðal karlmanna geti æfing í föstu bætt virkni þeirra enn meira en venjuleg æfing.

Við mælingar á loftháðri getu eru tvö próf vinsælust í heiminum í dag. Það eru VO₂max-próf og mjólkursýruþröskuldspróf.

Lítið er til af rannsóknnum sem tengja saman mjólkursýruþröskuld og föstu. Hins vegar hafa lífeðlisfræðilegir þættir mjólkursýruþröskuldsins verið kannaðir mikið og það sem virðist vera að baki aukningar mjólkursýru í blóði við aukið æfingaálag. Þeir lífeðlisfræðilegu ferlar sem ákvarða mjólkursýruþröskuld eru mjög flóknir. Þeir þættir eru þó aðallega tengdir oxunargetu

beinagrindarvöðvanna sem um ræðir. Hámarkshraði fituoxunar er ekki nógu hraður á þessum tímapunkti til að anna eftirspurn vöðvanna. Það veldur því að líkaminn skiptir meira í átt að notkun loftfirtra orkuferla (glýkólýsa og glýkógenólýsa). Það veldur aukinni myndun píruvat-sýru. Hvatberarnir ráða ekki við að oxu alla þessa píruvat-sýru og þess vegna eykst myndun mjólkursýru mjög hratt (mjólkursýruþröskuldur). Í efnaskiptaferli mjólkursýrumyndunar myndast einnig H^+ sem er líklegasta ástæðan fyrir því að vöðvinn “súrnar” mikið eftir mjólkursýruþröskuldinn (Joyner og Coyle, 2008).

Vitandi það að grunnástæður mjólkursýrumyndunar eru vegna ónógrar virkni og fjölda oxunarensíma væri hægt að álykta að mjólkursýruþröskuldur hækki eftir því sem oxunarensímin (til dæmis HAD og CS) verða fleiri og virkari eftir úthaldsþjálfun. Þá er mögulega hægt að geta sér til um það að þar sem æfingar í föstu auka virkni þessara ensíma meira en æfingar í venjulegu ástandi meðal karlmannna að æfingar í föstu valdi minni mjólkursýrumyndun en ella. Þetta leiði því til hærri mjólkursýruþröskulds. Þetta á hins vegar aðeins við hjá körlum. Í þessum skilningi hjálpa æfingar í föstu líklega ekki konum meira en venjulegar æfingar.

Sýnt hefur verið fram á aukna framleiðslu HGH þegar fastað er. Það er þó ekki talið hafa nein sérstök áhrif á VO_{2max} eða aðrar loftháðar þjálfunaraðlaganir (Zajac o.fl., 2010).

Lítið er til af rannsóknum sem rannsaka áhrif æfinga í föstu á þjálfunaraðlaganir hjarta- og æðakerfis. Það er þó engin sérstök ástæða til þess að æfingar í föstu hafi nein sérstök áhrif á hjartaafköst, slagmagn, hjartsláttartíðni eða aðrar breytur tengdar hjarta- og æðakerfinu.

4.3 Áhrif föstu á loftfirtra getu

Þegar almennar aðlaganir líkamans að föstu eru teknar til skoðunar er sennilega ekki mikil ástæða til þess að reikna með því að mikill ávinningur felist í því að fasta. Algengar mælingar á loftfirtri getu eru til dæmis lóðrétt hopp, Wingate-próf og sprettpróf (100-400m), Wingate prófið, sem er 30 sekúndna hámarkspróf framkvæmt á hjóli, er líklega vinsælast við framkvæmdir á vísindarannsóknum. Prófin mæla ýmsar breytur sem hægt er að skoða og fylgjast með. Það eru til dæmis hámarksaflmyndun, meðalaflmyndun og þreytustuðull reiknaður út frá aflfalli (Zagatto, Beck og Gobatto, 2009).

Sýnt hefur verið fram á slakari frammistöðu í sprettum ef fastað er fyrir framkvæmd (Chaouachi o.fl., 2012; Maughan, Fallah og Coyle, 2010).

Hvort einhver breyting verði á ef loftfirrt þol er æft í föstu er erfitt að segja til um. Lítið er til af heimildum sem rannsaka langtíma áhrif æfinga í föstu á loftfirtra getu. Þær heimildir sem til eru eru mestmegnis tengdar föstu múslima í Ramadan-mánuðinum. Í Ramadan föstu mega múslimar hvorki borða né drekka frá sólarupprás að sólarlagi.

Ein slík rannsókn sem Karli og félagar stóðu fyrir árið 2007 skoðaði áhrif Ramadan-föstu á loftfirrt afl og loftfirtra getu með Wingate-prófi. Í rannsókninni voru 10 afreksíþróttamenn prófaðir þrisvar sinnum. Fyrst þremur dögum fyrir upphaf Ramadan, aftur þremur dögum fyrir lok Ramadan og loks þremur dögum fyrir lok fjórðu viku eftir Ramadan. Rannsóknin leiddi í ljós að ef kraftþjálfun er framkvæmd reglulega og hugað er að því að dagleg fæðuinntaka, vökvajafnvægi líkamans og svefnmynstur breytist ekki mun Ramadan-fasta ekki hafa skaðleg áhrif á líkamssamsetningu, loftfirrt afl né loftfirrt þol. Áhugavert var einnig að sjá að meðaltalshámarksafl (Peak power) þolenda jókst úr 803,54W í 848,19 W milli fyrstu tveggja Wingate-prófanna og áfram upp í 878,14 W í síðustu mælingunni (Karli, Guvenc, Aslan, Hazir og Acikada, 2007).

Ekki er hægt að nota þessar tölur til þess að halda því fram að æfingar í föstu auki loftfirtra getu frekar en venjulegar æfingar. Enginn samanburður fyrir íþróttamenn sem æfðu venjulega

er til staðar. Hins vegar benda þessar niðurstöður til þess, eins og áður sagði, að í það minnsta kemur Ramadan-fastan ekki í veg fyrir bætingu á loftfirrtri getu (Karli o.fl., 2007).

Aukin brennsla fitu er einn þáttur sem er tengdur við það að æfa fastandi (De Bock o.fl., 2008). Hægt er að tengja það loftfirrtri getu. Til dæmis ef verið er að mæla hraða í 400 metra spretthlaupi. Þar skiptir hvert einasta sekúndubrot máli og lág fituprósentu getur klárlega hjálpað, sérstaklega hjá einstaklingum sem eru með mikinn fitumassa. Sýnt hefur verið fram á að fylgni sé á milli lækkaðrar fituprósentu í neðri hluta líkamans og frammistöðu í 400 metra hlaupi (Legaz og Eston, 2005).

Einnig má tengja aukið magn HGH í blóði við bættu loftfirrta getu. Rannsókn Zajac og félagar sýndi fram meiri bætingu á loftfirrtum þáttum með nokkun HGH samhliða æfingum. Þar hækkaði meðal annars hámarksaflmyndun töluvert með notkun HGH. Hópur sem fór eftir sömu æfingaáætlun án notkunar HGH bætti hámarksaflmyndun sína ekki jafn mikið (Zajac o.fl., 2010).

Önnur rannsókn sem var framkvæmd af Meinhardt og félögum, greindi frá því að HGH hefði töluvert áhrif á loftfirrta getu. Hormónið gæti í raun haft áhrif sem samsvaraði 0,4 sekúndna bætingu í 100 metra spretti. Þá er talið líklegast að HGH hafi áhrif á orkuefnaskiptaferla vöðva og þannig verði bæting á loftfirrtri getu (Meinhardt o.fl., 2010).

4.4 Áhrif föstu á styrktarþjálfun

Þegar rætt er um áhrif föstu á styrktarþjálfun eru niðurstöður ýmissa rannsókna misvísandi. Rannsókn Moro og félagar um áhrif þess að fasta í 16 tíma á sólarhring samhliða styrktarþjálfun í 8 vikur sýndi engan mun á styrktaraukningu milli þeirra sem föstuðu 16 klukkustundir á sólarhring og þeirra sem föstuðu ekki. Sama rannsókn sýndi að báðir hóparnir viðhéldu fitufríum massa jafn vel. Föstuhópurinn losaði sig þó við miklu meiri fitumassa (-16,4% á móti -2,8 %) (Moro o.fl., 2016).

Önnur svipuð rannsókn var framkvæmd af Tinsley og félögum og gekk nokkurn veginn eins fyrir sig fyrir utan það að í þessu tilfelli átti föstuhópurinn að fasta í 20 klukkustundir á sólarhring, fjórum sinnum í viku í 8 vikur. Niðurstöður þeirrar rannsóknar voru þær að engar markverðar breytingar urðu á líkamssamsetningu í hvorugum hópnum. Styrktaraukning mæld í 1-RM (hámarksþyngd einnar lyftu) varð í báðum hópnum. Styrktaraukningin var þó meiri í hópnum sem fastaði. Annað sem kom þó fram í rannsókninni var að hópurinn sem ekki fastaði bætti um það bil 2 kg að meðaltali á sig af fitufríum massa. Það gerðist ekki hjá hópnum sem fastaði. Það gæti bent til þess að fasta dragi úr vöðvastækkun (hypertrophy). Hins vegar gæti líka verið að þessi munur gæti stafað af muni á próteinneyslu hópanna. Ef næringarsamsetning hópanna tveggja er skoðuð kemur í ljós að föstuhópurinn neytti talsvert minna af próteinum að meðaltali. Próteinneysla er mjög mikilvæg fyrir vöðvauppbyggingu (Kenney, Wilmore og Costill, 2015; Tinsley o.fl., 2017).

Það hefur verið sýnt fram á að það að fasta fyrir styrktaræfingu geti örvað anabólísk viðbrögð vöðvafruma við því að taka inn mixtúru sem inniheldur protein, kolvetni og leucine á fyrstu stigum endurheimtar eftir erfiða styrktaræfingu. Æfing í föstufasa eykur fosforyleringu á p70^{s6k} (phosphoprotein 70 ribosomal protein S6 kinase), PKB (Protein kinase B) og GSK3 (glycogen synthase kinase 3) en minnkar fosforyleringu á eIF2B (Eukaryotic initiation factor 2B) og eEF2 (Eukaryotic elongation factor 2) miðað við það sem gerist ef kolvetnaríks morgunmatar er neytt (Deldicque o.fl., 2010).

Anabólískum áhrifum amínósýra er miðlað með insulín-óháðri virkjun p70^{s6k}. Því er líklegt að þetta hærra stig fosforyleringin á p70^{s6k} sé vegna stjórnunar á mTORC₁ (Mammalian target of rapamycin complex 1) eða á p70^{s6k} sjálfu. Það er því hægt að álykta að flutningur amínósýra sé hraðari þegar mixtúran er drukkin eftir æfingu í föstufasa. Það ásamt áhrifum sem verða á

hinum boðefnunum sem um ræðir gæti haft jákvæð áhrif á viðhald og vöðvastækkun (Deldicque o.fl., 2010)

Vaxtarhormónið HGH eykst mikið í föstu. Nørrelund greinir meðal annars frá því að í ungum heilbrigðum einstaklingi aukist HGH seyting fimmfalt við tveggja daga föstu (Nørrelund, 2005). Hormónið hefur meðal annars verið notað ólöglega meðal íþróttamanna til að bæta árangur sinn eða getu (Robinson, 2009). Ástæða þess að sumir kjósa að nota HGH er líklega til þess að auka vöðvamassa og styrk (Saugy o.fl., 2006). Hins vegar eru niðurstöður tveggja rúmlega 25 ára gamalla rannsókna um áhrif HGH á styrktarþjálfun á þann veg að svipaðrar styrkukningar sé að vænta með og án HGH-notkunar samhliða styrktarþjálfun (Deyssig, Frisch, Blum og Waldhor 1993; Yarasheski o.fl., 1992).

Það er þó þekkt að HGH sé tekið inn samhliða öðrum efnum sem auka enn frekar á aukinn vöðvamassa og styrktaraukningu. Meinhardt og félagar sögðu til dæmis frá því að notkun testosteróns samhliða HGH myndi auka áhrif á líkamssamsetningu og líkamlega afkastagetu enn frekar (Meinhardt o.fl., 2010).

4.5 Áhrif föstu á endurheimt eftir æfingar

“Recovery should be so well understood and actively enhanced that it become a fixed component of your training” – Tudor Bompá

Endurheimt er alltaf að verða stærri og stærri þáttur í æfingaáætlun þjálfara. Rétt magn endurheimtar er mikilvægt til að forðast ofþjálfun og auka líkurnar á sem bestu þjálfunaraðlögunum. Endurheimt er ferlið sem á sér stað þegar líkaminn nær upp fullri afkastagetu aftur eftir erfíða æfingu eða keppni. Það felur meðal annars í sér endurhleðslu líkamans á orkugjöfum og viðgerð á vöðvafrumum sem hafa orðið fyrir miklu álagi. Um 50% af lokaframmistöðu íþróttamanns veltur á getu hans til endurheimtar. Ef endurheimtin er ekki næg þá verða þjálfunaraðlaganirnar engar. Það er því gríðarlega mikilvægt að taka endurheimtina með í reikninginn (Bompá og Buzzichelli, 2015).

Það eru margir þættir sem geta haft áhrif á endurhæfinguna, meðal annars hvíld, umhverfi, stress og æfingaálag (Bompá og Buzzichelli, 2015).

Sýnt hefur verið fram á það að fasta hafi neikvæð áhrif á endurheimt þeirra sem fasta eftir æfingu. Til dæmis sýndi rannsókn á æfingaframmistöðu og endurheimt 20 karlkyns íþróttamanna sem fasta yfir Ramadan mánuð fram á verri heildargæði endurheimtar (total quality recovery) þeirra sem föstuðu. Þeir þættir sem höfðu mesta áhrif á þá niðurstöðu voru verra jafnvægi á næringarinntöku og tímasetningum og verra skor á hvíldar-tilfinningalega sviðinu. Sama rannsókn sýndi þó fram á að hópurinn sem fastaði fékk betri hvíld, drakk meiri vökva og sýndi jákvæðari viðbrögð við niðurskokki og teygjum en viðmiðunarhópurinn (Havenetidis, 2015).

Betri hvíld og vökvabúskapur eru þó taldir vera tengdir öðruvísi næringar- og svefnhegðun múslima í Ramadan-mánuðinum. Þá fara þeir yfirleitt snemma að sofa og drekka mjög mikið af vatni í byrjun dags fyrir sólarupprás (Havenetidis, 2015).

Louis Burke sem birti grein í British Journal of Sports Medicine árið 2010 segir einnig að þetta ætti að vera raunin. Hún greinir frá því að með of lítilli næringarinntöku getur endurhleðsla líkamans á orkugjöfum orðið lakari. Hún segir líka frá því að fyrstu klukkustundirnar eftir æfingu séu mikilvægastar í þessu samhengi. Ef prótein er ekki tekið inn fljótlega eftir æfingu gætu viðgerðir og próteinmyndun ekki átt sér stað sem lengir tíma endurheimtar (Burke, 2010).

Flestar heimildir greina frá því að fasta geri í heildina endurheimtina lélegri. Í þeim tilfellum þar sem æfingin er tekin í föstufasa er mælt með því að taka fljótlega inn prótein-drykk eftir

lok æfingar, sérstaklega ef um styrktaræfingu er að ræða. Sýnt hefur verið fram á að í föstu verði vöðvaprótein niðurbrot talsvert meira. Því er mikilvægt að fá prótein inn í kerfið fljótlega í kjölfar æfingar til að koma í veg fyrir vöðvaniðurbrot og auka líkurnar á vexti vöðva (Aragon og Schoenfeld, 2013).

Áhugavert er þó að skoða áhrif þess að fasta í kjölfar æfingar á hreinsun mjólkursýru í blóði. Svo virðist vera að mjólkursýra sé hreinsuð hraðar úr blóði eftir æfingu ef fastað er. Rannsókn Almomen og félaga sýndi fram á þetta með því að mæla mjólkursýru íþróttamanna í föstufasa fyrir æfingu, strax eftir æfingu og 30 mínútum eftir æfingu. Niðurstaðan var sú að föstuhópurinn (FAST) hafði meiri mjólkursýru í blóði eftir æfingu en viðmiðshópurinn (NF), sem fékk kolvetnaríkan drykk strax eftir æfinguna (10,2 mmol FAST vs 9,0 mmol NF). 30 mínútum eftir æfinguna var hins vegar mjólkursýrumagn í blóði þeirra sem föstuðu orðið talsvert minna en hjá NF hópnum (4,2 mmol FAST vs 4,8 mmol NF). Niðurstaðan úr þessari rannsókn Almomen er sem sagt sú að það að fasta í kjölfar æfingar flýti fyrir hreinsun mjólkursýru úr blóði (Almomen, M. M., Alsaleh, Almomen, A. M. og Badar, 2011). Þessi aukna losun mjólkursýru úr blóðinu er talin vera háð notkun á gluconeogenesis. Hreyfing veldur lækkun í blóðsykri. Innskýting mjólkursýru við lága ákefð eykur gluconeogenesis á mjólkursýru, glúkósa-framleiðslu og þar með styrk blóðsykursins (Roef o.fl., 2003).

5 Umræður

Þörf er á frekari rannsóknum á áhrifum föstu á líkamspjálfun einstaklinga. Hins vegar er þekkingin alltaf að aukast og ýmislegt hefur komið í ljós varðandi kosti og galla þess að fasta. Niðurstöður rannsókna varðandi áhrif á VO_{2max} eru mismunandi. Þannig benda niðurstöður Stannard til þess að hægt sé að auka VO_{2max} með því að æfa í föstufasa. Rannsóknir De Bock og Van Proyen greindu hins vegar báðar frá því að bæting VO_{2max} væri jafn mikil, hvort sem væri fastað samhliða úthaldspjálfuninni eða ekki (De Bock o.fl., 2008; Stannard o.fl., 2010; Van Proeyen o.fl., 2011).

Það sem var hins vegar sameiginlegt í niðurstöðum þessara þriggja umfangsmiklu rannsókna var að líklega væri hægt að flýta ýmsum loftháðum þjálfunaraðlögunum með því að fasta samhliða úthaldspjálfun. Þetta sést best á því að ensím sem starfa við loftháð orkuferli og fituoxun (HAD, CS, FABp o.fl.) sýna meiri virkni eftir úthaldspjálfun samhliða föstu (De Bock o.fl., 2008; Stannard o.fl., 2010; Van Proeyen o.fl., 2011).

Það má þá ef til vill geta sér til um það að í það minnsta hafi úthaldspjálfun í föstufasa ekki neikvæð áhrif á VO_{2max} .

Aðrar rannsóknir styðja síðan við þessar niðurstöður og hafa meðal annars greint frá því að breytingar á líkamssamsetningu einstaklinga sem fasta séu yfirleitt þær að fitumassi minnki (Chen o.fl., 2017) (Moro o.fl., 2016).

Munur á milli kynja og aðlaganna að föstu og loftháðri þjálfun er eitthvað sem er mjög áhugavert. Til að mynda var sýnt fram á öfugar aðlaganir oxunarensímanna að þolþjálfun með föstu. Oxunarensímin HAD og CS sýndu meiri virkni meðal karlmannna sem föstuðu samhliða úthaldspjálfun. Þessi sömu ensím sýndu hins vegar jákvæðari viðbrögð við þolþjálfun án föstu meðal kvenna (sjá mynd 3) (Stannard o.fl., 2010).

Niðurstöður Stannard og félagar um aukið glýkógenmagn í vinnandi vöðvum þeirra sem fasta er einnig eitthvað sem er mjög áhugavert. Það bendir til þess að líkaminn haldi betur í glýkógenið ef fastað er. Líklega notar hann þá meira af fitu til orkubrennslu í staðinn og hefur þá jafnvel í heildina meiri möguleika á orkumyndun en þegar ekki er fastað (Stannard o.fl., 2010).

Lítið er til af rannsóknum sem sýna fram á þjálfunaraðlaganir að loftfirtri þjálfun samhliða föstu. Hins vegar gefa nokkrar rannsóknir vísbendingar um það hvaða aðlaganir gætu átt sér stað.

Karli og félagar sýndu fram á að Ramadan-fasta afreksíþróttamanna samhliða loftfirðri þjálfun kæmi í það minnsta ekki í veg fyrir aukningu á loftfirtri getu. Þátttakendur í rannsókninni sem spannaði um átta vikna tímabil sýndu aukningu á hámarksafli (peak power) úr 803, 54 W í 874,19 W í Wingate-prófi (Karli o.fl., 2007).

Einnig er hægt að nýta sér þekkingu á öðrum aðlögunum að föstu til að geta sér til um aukna loftfirtra getu. Til dæmis hefur verið sýnt fram á tengsl milli lægri fituprósentu og góðrar frammistöðu í 400 m hlaupi (Legaz og Eston, 2005).

Auk þess sýndu Meinhardt og félagar fram á bætingu sem samsvarar 0,4 sekúndum í 100 metra spretti með auknu magni HGH í blóðinu (Meinhardt o.fl., 2010). Náttúruleg HGH-seyting líkamans fimmfaldast við tveggja daga föstu (Nørrelund, 2005).

Þekking á styrktarþjálfun samhliða föstu er ekki nógu góð. Lítið er til af góðum rannsóknum sem rannsaka áhrif þess að þreyta styrktarþjálfun í föstu. Flestar rannsóknirnar eru á þá vegu að föstutímabilið er í endurheimtinni milli æfinga. Æfingar í rannsóknunum eru sjaldan eða aldrei framkvæmdar í föstu og því ekki hægt að nota þær til að spá fyrir um þjálfunaraðlaganir líkamans við styrktarþjálfun samhliða föstu.

Hins vegar sýndu tvær rannsóknir fram á að í það minnsta hefði fasta á milli æfinga, reyndar framkvæmd á mismunandi hátt, ekki slæm áhrif á styrktaraukningu (Moro o.fl., 2016; Tinsley

o.fl., 2017). Rannsókn Tinsley og féлага sýndi meira að segja fram á meiri styrktaraukningu meðal þátttakenda sem föstuðu í 20 klst, fjórum sinnum í viku. Þar var þó einungis fastað þá daga sem ekki var æft (Tinsley o.fl., 2017)

Áhugavert er að skoða þekkingu á HGH í tengslum við styrktarþjálfun, þar sem efnið hefur verið notað ólöglega í von um betri styrktaraukningu og meiri vöðvamassa (Robinson, 2009; Saugy o.fl., 2006).

Tvær rannsóknir sem hafa verið gerðar á áhrifum HGH á styrktaraukningu sýna þó fram á að þeir sem geri það hafi ekki erindi sem erfiði. Þær rannsóknir sýndu báðar fram á að enginn marktækur munur væri á styrktaraukningu með eða án notkunar HGH samhliða styrktarþjálfuninni (Deyssig o.fl., 1993; Yarasheski o.fl., 1992).

Í tilfalli endurheimtar eftir æfingar í föstu er mælt með því að brjóta föstuna strax eftir æfingar með próteininntöku til að koma í veg fyrir vöðvaniðurbrot og styðja við viðhald uppbyggingar vöðvafruma (Aragon og Schoenfeld, 2013). Flestir fræðimenn eru sammála um það að æfingar samhliða föstu hafi neikvæð áhrif á endurheimtina (Burke, 2010; Havenetidis, 2015). Þó er rannsókn Almomen um hreinsun mjólkursýru úr blóði með föstu eftir æfingu mjög áhugaverð. Niðurstöður rannsóknarinnar voru þær að hreinsun mjólkursýru úr blóði væri töluvert hraðari ef beðið var í að minnsta kosti 30 mínútur með fæðuinntöku eftir æfingu (Almomen o.fl., 2011). Í flestum tilfellum er þó mælt með því að taka inn næringu sem fyrst eftir æfingu í föstu. Ef hins vegar þarf að hreinsa mjólkursýru hratt úr blóði er gott að hafa þetta í huga.

6 Ályktanir

Ljóst er að í einhverjum tilfellum getur fasta samhliða líkamsþjálfun hentað vel. Þeir íþróttamenn sem stunda úthaldsíþróttagreinar sem eru mjög háðar loftháðri orkumyndun geta sennilega bætt frammistöðu sína enn frekar með því að fasta samhliða æfingum ef rétt er farið að. Bætt ensímvirkni í loftháðum orkuferlum þeirra sem fasta styður við þessa ályktun. Eins ætti aukin oxun fitu sem verður við þolþjálfun í föstu að leiða til betri aðlaganna að þolþjálfun.

Með þessar aðlaganir í huga er mögulega hægt að geta sér til um það að þó gögnin um það séu ekki nægilega afgerandi, gæti VO_{2max} -hækkun mögulega orðið meiri ef fastað er samhliða úthaldsþjálfun.

Það er þó rétt að benda á það að æfingar í föstu henta karlmönnum betur en kvenmönnum. Konur sýna ekki fram á sömu breytingar á ensímvirkni við æfingar í föstu. Þvert á móti hentar þeim betur að borða næringarríka máltíð fyrir æfingu ef tilgangurinn er að auka ensímvirkni HAD og CS svo að tekið sé dæmi.

Til að njóta ávinnings þess að fasta samhliða æfingum er þó mikilvægt að hafa í huga að brjóta föstuna í lok æfingar til að koma í veg fyrir neikvæð áhrif á endurheimt í kjölfar æfingunnar.

Fyrir einstaklinga sem hafa það að markmiði að léttast og minnka fitumassa er ljóst að það að fasta getur hjálpað mikið. Jafnvel utan æfinga er hægt að greina meiri brennslu fitu ef fastað er í ákveðinn tíma.

Þegar litið er til áhrifa föstu á loftfirtra þjálfun og styrktarþjálfun er ljóst að þörf er á fleiri rannsóknum til að sýna fram á hvað gerist nákvæmlega í þessum aðstæðum. Í raun er aðeins hægt að greina frá því að fasta samhliða þjálfun hafi hvorki neikvæð áhrif á styrktaraukningu né bætta loftfirtra getu. Flestar rannsóknir á þessum þáttum rannsaka einstaklinga sem fasta utan æfinga. Því er ekki hægt að fullyrða um það hvað gerist þegar æft er í föstufasa.

Í heildina litið er þörf á frekari rannsóknum tengdum föstu og líkamsþjálfun. Erfitt getur verið að greina hvað er rétt og hvað er rangt í þessum málefnum. Rannsóknir koma úr mörgum mismunandi áttum og fjalla um mismunandi aðferðir við föstu. Sem dæmi er ekki hægt að reikna með sömu aðlögunum að Ramadan-föstu, 20 klukkustunda föstu sem er framkvæmd fjórum sinnum í viku og 16 klukkustunda föstu sem er framkvæmd daglega.

Til að finna út hvaða leið er best að fara í því að fasta samhliða æfingum þarf íþróttamaðurinn líklega að prófa sig áfram og finna út hvað það er sem hentar honum best. Eins er þörf á meiri samsvörun á milli rannsókna svo hægt sé að tengja aðlaganir líkamans að mismunandi löngum föstum betur.

Fasta samhliða íþróttþjálfun er áhugavert umfjöllunarefni og eitthvað sem hægt er að nota upp að vissu marki til að auka frammistöðu íþróttafólks. Áhugavert verður að fylgjast með því hvað frekari rannsóknir um þetta efni muni leiða í ljós.

Heimildaskrá

- Almomen, M. M., Alsaleh, Q. L., Almomen, A. M., og Badar, A. (2011). Effect of fasting after exercise on blood lactate clearance in untrained male volunteers. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 61(1), 104-107.
- Aragon, A. A., & Schoenfeld, B. J. (2013). Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 5. doi:10.1186/1550-2783-10-5
- Azevedo, F. R., Ikeoka, D., & Caramelli, B. (2013). Effects of intermittent fasting on metabolism in men. *Revista da Associação Médica Brasileira (1992)*, 59(2), 167-173. doi:10.1016/j.ramb.2012.09.003
- Bompa, T. og Buzzichelli, C. A. (2015). *Periodization Training for Sports* (3rd útg.). Champaign, USA: Human Kinetics.
- Boron, W. B. (2012). *Medical physiology : a cellular and molecular approach* (2nd útg.). Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Burke, L. (2010). Fasting and recovery from exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 44(7), 502-508. doi:10.1136/bjism.2007.071472
- Chaouachi, A., Leiper, J. B., Chtourou, H., Aziz, A. R., & Chamari, K. (2012). The effects of Ramadan intermittent fasting on athletic performance: recommendations for the maintenance of physical fitness. *Journal of Sports Sciences*, 30 Suppl 1, S53-73. doi:10.1080/02640414.2012.698297
- Chen, Y. C., Travers, R. L., Walhin, J. P., Gonzalez, J. T., Koumanov, F., Betts, J. A., og Thompson, D. (2017). Feeding influences adipose tissue responses to exercise in overweight men. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*. ajpendo.00006.02017. doi:10.1152/ajpendo.00006.2017
- Collier, R. (2013). Intermittent fasting: the science of going without. *Canadian Medical Association Journal*, 185(9), E363-364. doi:10.1503/cmaj.109-4451
- Cristophe, A.V. og Vriese, S.D. (2000). *Fat Digestion and Absorption*. USA: AOCS.
- De Bock, K., Derave, W., Eijnde, B. O., Hesselink, M. K., Koninckx, E., Rose, A. J., . . . Hespel, P. (2008). Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 104(4), 1045-1055. doi:10.1152/jappphysiol.01195.2007
- Deldicque, L., De Bock, K., Maris, M., Ramaekers, M., Nielens, H., Francaux, M. og Hespel, P. (2010). Increased p70s6k phosphorylation during intake of a protein-carbohydrate

- drink following resistance exercise in the fasted state. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 791-800.
- Deyssig, R., Frisch, H., Blum, W. F. og Waldhor, T. (1993). Effect of growth hormone treatment on hormonal parameters, body composition and strength in athletes. *Acta Endocrinologica*, 128(4), 313-318.
- Embætti landlæknis. (2016). *Grundvöllur ráðlegginga um mataræði og ráðlagðir dagskammtar næringarefna*. Sótt 10. 05 2017 frá http://www.landlaeknir.is/servlet/file/store93/item25582/Grundvollur_radlegginga_um_mataræði_og_RDS_naeringarefna_uppfært_9.2.2016.pdf
- Fríða Rún Þórðardóttir (2003). *Næring Íþróttafólks (4. útg.)*. Reykjavík. Íþrótt- og Ólympíusamband Íslands (ÍSí).
- Gonzalez, A. A., Kumar, R., Mulligan, J. D., Davis, A. J., Weindruch, R. og Saupe, K. W. (2004). Metabolic adaptations to fasting and chronic caloric restriction in heart, muscle, and liver do not include changes in AMPK activity. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 287(5), E1032-1037. doi:10.1152/ajpendo.00172.2004
- Griggio, M. A., Luz, J. og Carvalho, S. M. (1992). The effect of fasting and refeeding on oxygen consumption by rats. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 25(2), 205-208.
- Havenetidis, K. (2015). Exercise Performance and Recovery of Muslim Endurance Athletes during Ramadan Fasting. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 10(1), 51-68. doi:10.1260/1747-9541.10.1.51
- Hawley, J. A., & Burke, L. M. (2010). Carbohydrate Availability and Training Adaptation: Effects on Cell Metabolism. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(4), 152-160. doi:10.1097/JES.0b013e3181f44dd9
- Ho, K. Y., Veldhuis, J. D., Johnson, M. L., Furlanetto, R., Evans, W. S., Alberti, K. G. og Thorner, M. O. (1988). Fasting enhances growth hormone secretion and amplifies the complex rhythms of growth hormone secretion in man. *Journal of Clinical Investigation*, 81(4), 968-975. doi:10.1172/jci113450
- Ingjer, F. og Myhre, K. (1992). Physiological effects of altitude training on elite male cross-country skiers. *Journal of Sports Sciences*, 10(1), 37-47. doi:10.1080/02640419208729905
- Insel, P. T. (2004). *Nutrition* (2nd útg.). Sudbury: Jones and Bartlett publishers.
- Johnson, L. B. (2003). *Essential Medical Physiology* (3rd útg.). Elsevier.

- Joyner, M. J. og Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44. doi:10.1113/jphysiol.2007.143834
- Kahn, C. W. (2005). *Joslin's Diabetes Mellitus* (14th útg.). Boston: Joslin's Diabetes Center.
- Kaikaus, R. M., Bass, N. M. og Ockner, R. K. (1990). Functions of fatty acid binding proteins. *Experientia*, 46(6), 617-630. doi:10.1007/bf01939701
- Karli, U., Guvenc, A., Aslan, A., Hazir, T. og Acikada, C. (2007). Influence of Ramadan Fasting on Anaerobic Performance and Recovery Following Short time High Intensity Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(4), 490-497.
- Kenney, W., Wilmore, J. og Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise* (6th útg.). Champaign, Illions, USA: Human Kinetics.
- Large, V., Arner, P., Reynisdóttir, S., Grober, J., Van Harmelen, V., Holm, C. og Langin, D. (1998). Hormone-sensitive lipase expression and activity in relation to lipolysis in human fat cells. *Journal of Lipid Research*, 39(8): 1688-95
- Legaz, A. og Eston, R. (2005). Changes in performance, skinfold thicknesses, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *British Journal of Sports Medicine*, 39(11), 851-856. doi:10.1136/bjism.2005.018960
- Maughan, R. J., Fallah, J. og Coyle, E. F. (2010). The effects of fasting on metabolism and performance. *British Journal of Sports Medicine*, 44(7), 490-494. doi:10.1136/bjism.2010.072181
- Meinhardt, U., Nelson, A. E., Hansen, J. L., Birzniece, V., Clifford, D., Leung, K. C., . . . Ho, K. K. (2010). The effects of growth hormone on body composition and physical performance in recreational athletes: a randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 152(9), 568-577. doi:10.7326/0003-4819-152-9-201005040-00007
- Moro, T., Tinsley, G., Bianco, A., Marcolin, G., Pacelli, Q. F., Battaglia, G., . . . Paoli, A. (2016). Effects of eight weeks of time-restricted feeding (16/8) on basal metabolism, maximal strength, body composition, inflammation, and cardiovascular risk factors in resistance-trained males. *Journal of Translational Medicine*, 14(1), 290. doi:10.1186/s12967-016-1044-0
- Muller, A. F., Lamberts, S. W., Janssen, J. A., Hofland, L. J., Koetsveld, P. V., Bidlingmaier, M., . . . Van der Lely, A. J. (2002). Ghrelin drives GH secretion during fasting in man. *European Journal of Endocrinology*, 146(2), 203-207.

- Nassis, G. P. (2013). Effect of altitude on football performance: analysis of the 2010 FIFA World Cup Data. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 703-707. doi:10.1519/JSC.0b013e31825d999d
- Noushmehr, H., D'Amico, E., Farilla, L., Hui, H., Wawrowsky, K. A., Mlynarski, W., ... Perfetti, R. (2005). Fatty acid translocase (FAT/CD36) is localized on insulin-containing granules in human pancreatic beta-cells and mediates fatty acid effects on insulin secretion. *Diabetes*, 54(2): 427-81.
- Nørrelund, H. (2005). The metabolic role of growth hormone in humans with particular reference to fasting. *Growth Hormone & IGF Research*, 15(2), 95-122. doi:10.1016/j.ghir.2005.02.005
- Ordway, G. A., Schwartz, M.A. og Frazer, A. (2007). *Brain Norepinephrine: Neurobiology and Therapeutics* (1st útg.). Cambridge. Cambridge University Press.
- Pilon, B. (2007). *Eat. Stop. Eat*. Ontario, Canada. Strength Works, Inc.
- Purves, W. S. (2003). *Life of science of biology* (7th útg.). USA. Sinauer Associates og W. H. Freeman.
- Robinson, T. (2010). *Performance enhancing drugs*. Minnesota. ABDO Publishing Company.
- Rodriguez, N. R., Di Marco, N. M. og Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 709-731. doi:10.1249/MSS.0b013e31890eb86
- Roef, M. J., de Meer, K., Kalhan, S. C., Straver, H., Berger, R. og Reijngoud, D. J. (2003). Gluconeogenesis in humans with induced hyperlactatemia during low-intensity exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 284(6), E1162-1171. doi:10.1152/ajpendo.00425.2002
- Samra, J. S., Clark, M. L., Humphreys, S. M., Macdonald, I. A., og Frayn, K. N. (1996). Regulation of lipid metabolism in adipose tissue during early starvation. *American Journal of Physiology*, 271(3 Pt 1), E541-546.
- Saugy, M., Robinson, N., Saudan, C., Baume, N., Avois, L. og Mangin, P. (2006). Human growth hormone doping in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 40 Suppl 1, i35-39. doi:10.1136/bjism.2006.027573
- Stannard, S. R., Buckley, A. J., Edge, J. A. og Thompson, M. W. (2010). Adaptations to skeletal muscle with endurance exercise training in the acutely fed versus overnight-fasted state. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 465-469. doi:10.1016/j.jsams.2010.03.002

- Stuewe, S. R., Gwartz, P. A., Agarwal, N. og Mallet, R. T. (2000). Exercise training enhances glycolytic and oxidative enzymes in canine ventricular myocardium. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 32(6), 903-913. doi:10.1006/jmcc.2000.1131
- Summerfield, L. (2014). *Nutrition, Exercise, and Behavior: An Integrated Approach to Weight Management* (3rd útg.). Boston: Cengage Learning.
- Tinsley, G. M., Forsse, J. S., Butler, N. K., Paoli, A., Bane, A. A., La Bounty, P. M., . . . Grandjean, P. W. (2017). Time-restricted feeding in young men performing resistance training: A randomized controlled trial. *European Journal of Sport Science*, 17(2), 200-207. doi:10.1080/17461391.2016.1223173
- Van Proeyen, K., Szlufcik, K., Nielens, H., Ramaekers, M. og Hespel, P. (2011). Beneficial metabolic adaptations due to endurance exercise training in the fasted state. *Journal of Applied Physiology* (1985), 110(1), 236-245. doi:10.1152/jappphysiol.00907.2010
- Velloso, C. P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *British Journal of Pharmacology*, 154(3), 557-568. doi:10.1038/bjp.2008.153
- Waalder, B. A., Eriksen, M. og Janbu, T. (1990). The effect of a meal on cardiac output in man at rest and during moderate exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140(2), 167-173. doi:10.1111/j.1748-1716.1990.tb08988.x
- Wijngaarden, M. (2015). *Metabolic and endocrine adaptations to fasting in lean and obese individuals*. Leiden: Leiden University.
- Wing, R. R. og Phelan, S. (2005). Long-term weight loss maintenance. *American Society for Clinical Nutrition*, 82(1), 222S-225S.
- Yarasheski, K. E., Campbell, J. A., Smith, K., Rennie, M. J., Holloszy, J. O. og Bier, D. M. (1992). Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth in young men. *The American Journal of Physiology*, 262(3 Pt 1), E261-267.
- Yokogawa, M., Ueda, K., Murase, J., Miaki, H., Sasaki, M., Inoue, K., . . . Tachino, K. (2007). Effects of Food Intake on Physiological Responses to Cardiopulmonary Exercise Testing. *Journal of Physical Therapy Science*, 19(2), 145-150. doi:10.1589/jpts.19.145
- Zagatto, A. M., Beck, W. R. og Gobatto, C. A. (2009). Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1820-1827. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3df32

- Zajâc, A., Czuba, M., Poprzecki, S., Waškiewicz, Z., Cholewa, J., Pilch, J., og Chycki, J. (2010). Effects of Growth Hormone Therapy and Physical Exercise on Anaerobic and Aerobic Power, Body Composition, Lipoprotein Profile in Middle Aged Men. *Journal of Human Kinetics* (Vol. 25, pp. 67).
- Zauner, C., Schneeweiss, B., Kranz, A., Madl, C., Ratheiser, K., Kramer, L., . . . Lenz, K. (2000). Resting energy expenditure in short-term starvation is increased as a result of an increase in serum norepinephrine. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(6), 1511-1515.