

Norveç Laktat-Eşik Antrenman Modeli: Teoriden Sahaya

Seyed Houtan Shahidi¹

Özet

Bölüm, geleneksel dayanıklılık antrenmanının “zorlu bir gün acıtmıyorsa işe yaramamıştır” anlayışını tanıtır ve modelin bunu tersine çevirdiğini söyler: en hızlı koşucular tükenişe dayanarak değil, sınırlarının altında kalarak hızlanır. Ardından kitabın yol haritasını çizer tarihçe, fizyoloji, sistemin mantığı ve sahadaki uygulaması. Yöntemin İskandinav yüksek hacim geleneğinden doğuşunu anlatır. Asıl mimar Marius Bakken’in kendi kanından beş binden fazla kez yaptığı laktat ölçümleriyle çift eşik gününü geliştirmesini, ardından Ingebrigtsen kardeşler aracılığıyla yöntemin dünyaya yayılmasını ele alır. Modelin Ingebrigtsen’lerle başlamadığını vurgular. Laktatın bir zehir değil, kullanılan bir yakıt ve sinyal olduğunu açıklar. Kan-laktat eğrisini, iki dönüm noktasını ve üretim temizlenme dengesini tanıtır. Eşikteki hızın VO_{2max} ’tan daha iyi performans öngördüğünü ve neredeyse tüm mesafe yarışlarının aerobik olduğunu gösterir. Temel ödünleşimi açıklar: her seansı $LT2$ ’nin altında tutmak maliyeti düşürür, böylece daha sık çalışılır ve kaliteli hacim katlanır. Eşiğin bir tempo değil şiddet bandı olduğunu, seansların neden sürekli koşu değil aralık olduğunu anlatır; modeli polarize/piramidal tartışmasına yerleştirir. İmza birim “çift eşik günü”nü, haftalık ritmi, baz-dönem mantığını, blokları ve yükseklik antrenmanını anlatır. Modeli, yüzeyde benzeyen Canova “özel bloğu”ndan ayırır. Kan-laktat testini, eşiği egride bulma yöntemlerini, laboratuvar yokken kullanılan vekilleri ve hazır olma sistemini açıklar; gerçek bir test verisinden bölgelerin nasıl çıkarıldığını örnekler. Hedef bandın keyfi olmadığını, iki eşikle tanımlandığını gösterir. Elitlerin çoğu zaman daha temkinli kaldığını ve bu sayıların evrensel değil yaklaşık değerler olduğunu vurgular. Başarının imzasının tüm laktat eğrisinin sağa aşağı kayması olduğunu, bunun ardındaki hücresel uyumları ve daha yüksek eşiğin neden yarış kazandırdığını açıklar. Orta ve uzun mesafe vurgularını karşılaştırır, temsili haftalık planlar sunar, gelişmekte olan sporculara uyarlamayı ve beş bölgeyi ayrıntılandırır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Faculty of Sports Science, Department of Sports Coaching, Istanbul Gedik University, Istanbul, Turkey. <https://orcid.org/0000-0001-5379-3567>

1. Giriş

Mesafe Antrenmanında Sessiz Bir Devrim

Yirminci yüzyılın büyük bölümünde, zorlu dayanıklılık antrenmanının baskın imgesi, ciğerleri köruk gibi inip kalkan, deposundaki her şeyi boşaltan ve geriye hiçbir şey bırakmayan bir seansın ardından pistin kenarında iki büküm olmuş bir koşucuydu (Cobb, 1936). Söylenmeyen kural basitti: zor bir gün acıtmıyorsa işe yaramamıştır. Norveç çift eşik modeli bu sezgiyi tepetaklak eder. Modelin merkezî iddiası neredeyse paradoksaldır dünyanın en hızlı mesafe koşucuları, tükeniş noktasına defalarca dayanarak değil, gün be gün, neredeyse klinik bir kesinlikle, sınırlarının rahatça altında bir şiddette kendilerini geri tutarak hızlanırlar. Bu bölüm söz konusu modeli derinlemesine inceler (Heck et al., 1985). İşe tarihçesiyle başlıyoruz: nereden geldiği, kimin geliştirdiği ve sporun en başarılı orta mesafe ailesi olan Ingebrigtsen'lerle nasıl özdeşleştiği. Ardından, yaklaşımın neden işe yaradığını açıklayan fizyolojiyi adım adım kuruyoruz: laktatın gerçekte ne olduğu, egzersiz sırasında nasıl davrandığı ve modeli düzenleyen iki “eşiğin” aerobik eşik (birinci laktat eşiği, LT1) ile anaerobik eşik (ikinci laktat eşiği, LT2) dayanıklılık performansı için neden bu kadar önemli olduğu (Oliver Faude et al., 2009). Oradan sistemin kendi mantığına geçiyoruz: kontrollü, maksimal altı bir şiddette yapılan hacmin, küçük dozda tüketici işten neden daha üstün olduğu; sporcuların bu şiddeti nasıl denetim altında tuttuğu; hedeflenen kan-laktat penceresinin neden kabaca litrede iki ila dört milimol arasında yer aldığı; ve meşhur “çift eşik gününün” nasıl kurulduğu. Son olarak, farklı branşlardaki dayanıklılık koşucularının modeli pratikte nasıl uygulandığına temsili antrenman haftalarıyla bakıyoruz; modelin gerçek güçlü yanlarını gerçek sınırlamalarıyla tartışıyoruz (Tønnessen et al., 2024).

2. Kökenler: Model Nereden Geldi

2.1 İskandinav mirası

Norveç modeli bir anda, eksiksiz biçimde ortaya çıkmadı. Sabırlı, yüksek hacimli aerobik gelişimden oluşan uzun bir İskandinav geleneğinden doğdu; entelektüel borçları, Yeni Zelandalı antrenör Arthur Lydiard'ın popülerleştirdiği baz-kurma felsefesine ve kıta Avrupası'nda Jan Olbrecht gibi spor bilimcilerin savunduğu laktat-yönlendirmeli, bireyselleştirilmiş yaklaşıma dayanır (Kelemen et al., 2024). Olbrecht'in “The Science of Winning” (Kazanmanın Bilimi) adlı kitabı, antrenmanı yalnızca hisle değil fizyolojik geri bildirimle yönlendirme konusunda bir başvuru taşı olarak popüler antrenörlük kaynaklarında bile anılır. Belirgin biçimde Norveç'e özgü olan ise, bu yüksek hacimli geleneği, şiddeti kontrol etmenin başlıca aracı olarak sahada rutin kan-laktat ölçümüyle

birleştirmesiydi. Kurumsal ortam da önemliydi (Kelemen et al., 2024). 1990'ların sonundan itibaren Norveç'in elit spor merkezi Olympiatoppen, dayanıklılık sporları arasında kayaklı koşu, koşu, kürek, triatlon etkin biçimde bilgi havuzu oluşturuyordu ve ortak antrenman ilkelerini inceliyordu. Bu ortamda çalışan fizyologlar, antrenörler ve sporcularla birlikte, farklı eşik çalışması formatlarını sistematik olarak sınamaya ve kan-laktat yanıtını izlemeye başladı (Kelemen et al., 2024). Norveç'te koşu şiddetini yönetmek için taşınabilir laktat ölçerlerin kullanımı genellikle 1998 dolaylarına tarihlenir. Dolayısıyla bugün "Norveç yöntemi" diye adlandırdığımız yaklaşımın kökleri, akılda kalıcı isim daha var olmadan çok önce, bu 1990'ların ortası-sonu dönemine uzanır. (Kelemen et al., 2025)

2.2 Marius Bakken ve çift eşik gününün doğuşu

Modelin tek bir baş mimarı varsa, o da Marius Bakken'dir; aynı zamanda alışılmadık biçimde eğitilmiş bir hekim olan bir Norveçli 5.000 m koşucusu. Bakken, yirmi yıldan fazla ayakta kalan 13:06'lık bir Norveç 5.000 m rekoru kurdu ve iki Olimpiyat Oyunları'nda yarıştı. Ancak kalıcı etkisi, bir sporcuymken geliştirdiği bir alışkanlıktan gelir: kendi deyimiyle bir sayıya saplantı haline geldi (Casado et al., 2023). Antrenman sırasında parmak ucundan kendi kan örneklerini almaya ve bunları taşınabilir bir laktat analizörüne girmeye başladı; dönemin antrenörlerinin kesin biçimde yanıtlayamadığı bir soruyu sordu: her temposunda kanımda gerçekte ne oluyor ve bu, yarın ne yapacağımı nasıl değiştirmeli? İzleyen yıllar boyunca bu ölçümü, kendi anlatımına göre, beş binden fazla kez tekrarladı. Seans seans, on yıldan uzun bir süre boyunca kayıt altına alınan bu veriler, sistemin deneysel temeli oldu (Jones & Carter, 2000). Bakken doğrudan Olympiatoppen fizyologlarıyla çalıştı; eşik formatları, "kas tonusu" adını verdiği şey aracılığıyla antrenman yükünün yönetimi ve yükseklik antrenmanı üzerinde deneyler yaptı. Bu onu eşik kapasitesini daha da geliştirmek ve Kenyalı şiddetleri yerinde gözlemlemek üzere 2000 yılında Kenya'ya götürdü (Johansen et al., 2022). Merkezî keşif aldatici ölçüde basitti: eğer kan laktatını ölçülü bir düzeyde dönüşü olmayan noktanın kasıtlı olarak altında tutarsa, sabah bir eşik seansı, akşam bir başkasını yapabiliyor ve bu örüntüyü, kendini bir çukura sokmadan haftada birkaç gün tekrarlayabiliyordu. İş iki seansa bölmek, tek bir tüketici seansın asla sağlayamayacağı kadar büyük bir haftalık yüksek kaliteli koşu hacmine olanak tanıyordu. Bakken daha sonra bu çerçeveyi yaygın okunan yazılara en etkili biçimde, çift eşik antrenmanının pratik uygulaması için temel İngilizce başvuru hâline gelen 2022 tarihli bir makaleye ve kitap uzunluğunda bir incelemeye damıttı. Tekrar tekrar vurguladığı şey, kesinliğin işin tamamı olduğudur: şiddet, işin tolere edilip tekrarlanabileceği kadar sıkı kontrol edilmelidir; çünkü gerçekte gelişmeyi

sürükleyen kaliteli hacmi biriktiren, kahramanlık değil, sürekliliktir (Jamnick et al., 2020).

2.3 Ingebrigtsen kardeşler ve küresel ilgi

Model, dünya çapında bir kitleye Ingebrigtsen ailesi aracılığıyla ulaştı. Yıllarca babaları Gjert Ingebrigtsen tarafından çalıştırılan üç kardeş, Henrik, Filip ve Jakob, yaklaşımın sahip olabileceği en görünür kanıt oldu. İki büyük kardeşi daha geleneksel, yüksek şiddetli çalışmayla çalıştırırken yaşanan erken sakatlık sorunlarının ardından, antrenörlük, kopuş olmadan sürekli çalışmaya olanak tanıyan sıkı kontrol edilen, eşik temelli şiddete yöneldi (Andersen, 2021). En küçükleri Jakob, yirmi yaşında Olimpiyat 1500 m altın madalyasını, yirmi üç yaşında Olimpiyat 5000 m altın madalyasını kazandı ve sonrasında dünya rekorları kırdı; tüm bunları, laktat kontrollü eşik seansları, uzun kolay koşular ve dönemlenmiş yükseklik çalışması etrafında kurulu, dikkat çekici ölçüde temkinli bir haftalık yapı içinde antrenman yaparak başardı (Kelemen et al., 2024). Elit sporcuların laktatın dar bir bantta tutulmasını amaçlayarak tekrarlar arasında durup kulak memesinden ya da parmak ucundan kan örneği aldığı görüntüler, yöntemi popülerleştirmede herhangi bir makale kadar etkili oldu. Koşu kültürü üzerindeki etki çarpıcıydı: çift eşik seansları, Avrupa’da ve ötesinde kulüp ve elit altı koşucuların antrenman günlüklerinde belirlemeye başladı. Etki pisti de aştı Norveçli triatletler Kristian Blummenfelt ve Gustav Iden, yakından ilişkili ilkeleri kullanarak uluslararası bir hâkimiyet kurdu; bu da fikirlerin tek bir bransa hatta tek bir spora değil, geniş anlamda dayanıklılık performansına özgü olduğunun altını çizdi. Yaygın biçimde yanlış anlaşıldığı için açıkça belirtmek gerekir ki yöntem Ingebrigtsen’lerle başlamamıştır. Onlar yöntemin en ünlü uygulayıcıları ve tavanının güçlü bir gösterimidir; ancak çerçeve, kardeşlerin büyükler kariyerinden yıllar öncesine dayanır ve Gjert’in sistemi üzerinden Bakken’in deneylerine ve 1990’ların sonundaki daha geniş Norveç spor-bilimi ortamına kadar geri izlenebilir (Beaver et al., 1986; Urhausen et al., 1993; Whipp et al., 1987).

3. Modelin Altındaki Fizyoloji

Norveç modelinin neden bu biçimde kurulduğunu anlamak için, önce laktata dair daha eski bir hikâyeyi bir kenara bırakmak gerekir. Bazı ders kitaplarında hâlâ öğretilen ve birçok antrenör tarafından tekrarlanan bu hikâye, bilimsel literatürle çelişir. Model, ancak laktatın ne olduğuna ve ne yaptığına dair çağdaş anlayışın ışığında anlam kazanır.

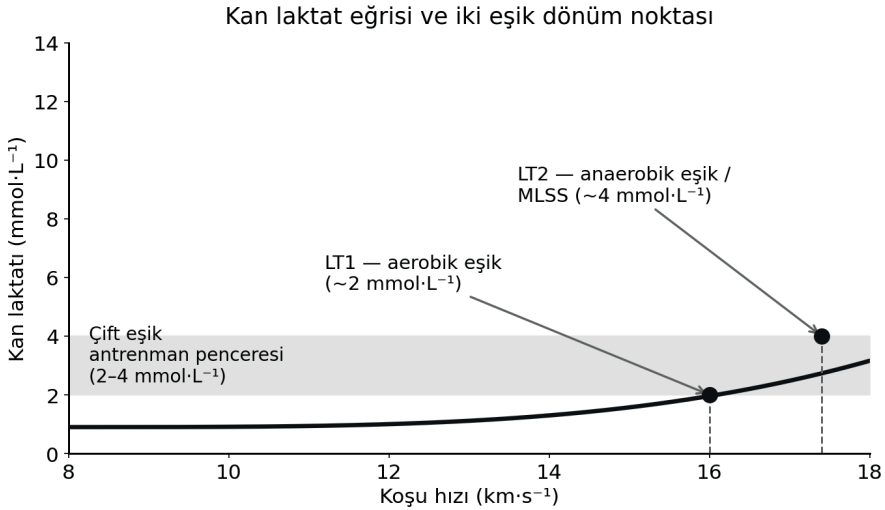
3.1 Laktat

Laktat, glikozun parçalanması sırasında kasta üretilen bir metabolittir. Onlarca yıl boyunca dayanıklılık egzersizinin kötü adamı olarak gösterildi: “oksijen borcunun” bir atık ürünü; zorlu çabalarındaki yanma hissinden, kas yorgunluğundan ve ertesi günlerde ortaya çıkan ağrıdan sözde sorumlu. Bu eski tabloda, maksimal oksijen alımını aşmak, aerobik metabolizmadan anaerobik metabolizmaya geçişe, laktatta ani bir yükselişe, bunun sonucunda bir “laktik asidoza” ve nihayetinde kas kasılmasının başarısızlığına yol açıyordu. Çağdaş egzersiz fiziolojisi bu anlatının neredeyse her ögesini söktü (Gaskill et al., 2001; Spencer & Gastin, 2001). Çıkmaz sokak bir atık ürün olmak şöyle dursun, laktat tümüyle aerobik koşullarda bile sürekli üretilir ve kullanılır; önemli ve hızla erişilebilir bir yakıttır. Üretildikten sonra monokarboksilat taşıyıcıları denen zar proteinleri aracılığıyla aynı hücrenin mitokondrilere taşınarak oksitlenebilir; ya da hücre dışına, kana çıkarılarak kalp, beyin, karaciğer, böbrekler ve diğer kaslar tarafından yakıt olarak alınabilir. Egzersiz sırasında laktat uzaklaştırmanın büyük çoğunluğundan oksidasyon sorumludur; geri kalanı karaciğer ve böbrekler tarafından yeni glikoz üretmek için kullanılır. Bazı koşullarda laktat, glikoza kıyasla tercih edilen bir yakıttır bile; çünkü alımı insülinle değil yalnızca konsantrasyon eğimleriyle yönetilir ve dönüşümü hız-sınırlayıcı değildir (Jamnick et al., 2020; Płoszczyca et al., 2020). Bu üretim ve yeniden kullanım ağı, laktat mekiği olarak da bilinir. Asidoz meselesi özel bir vurguyu hak eder, çünkü laktat etrafındaki ahlaki paniği ortadan kaldırır. Dikkatli biyokimyasal çözümler, yoğun egzersiz sırasında kas pH’sındaki düşüştür sorumlu hidrojen iyonlarının esas olarak laktatın kendisiyle değil, ATP’nin mitokondri dışı parçalanmasıyla ilişkili olduğunu gösterir. Hatta çeşitli kanıt dizileri, laktat üreten tepkimenin aslında bir proton tükettiğini ve asidoza karşı tamponlamaya yardımcı olduğunu düşündürür. Dahası, indüklenmiş asidozun modern çalışmalarda kas kasılması üzerindeki etkileri şaşırtıcı ölçüde sınırlıdır ve bazı durumlarda kuvvet üretimini koruyabilir bile. Antrenör için pratik ders şudur: yüksek kan-laktat değerleri, korkulup “temizlenmesi” gereken bir yorgunluk nedeni olarak değil, metabolik şiddetin bir göstergesi yararlı bir sinyal olarak anlaşılmalıdır (Oliver Faude et al., 2009; Jones & Carter, 2000).

3.2 Kan-laktat eğrisi

Bir koşucu artımlı bir test uygularsa, her aşamada kan laktat örneği alınırken giderek artan tempolarda koşarsa ve değerler hıza karşı çizilirse, karakteristik bir eğri ortaya çıkar. Düşük şiddetlerde kan laktatı dinlenme değerlerine yakın oturur ve neredeyse hiç değişmez. Şiddet arttıkça, laktatın taban değerinin üzerinde sürekli bir tırmanışa başladığı bir nokta gelir; daha da zorlandığında eğri giderek daha dik biçimde yukarı süpürülür (Płoszczyca et al., 2020).

Şekil 1, bu biçimi gösterir ve tüm Norveç yaklaşımını düzenleyen iki dönüm noktasını işaretler.



Şekil 1. Artımlı bir testten elde edilen kan laktat eğrisi; aerobik eşik (LT1, $\approx 2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) ile anaerobik eşik / maksimal laktat dengeli durumunu (LT2, $\approx 4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) ve aralarında gölgelenmiş 2–4 mmol çift eşik antrenman penceresini gösterir.

Eğrinin davranışı iki süreç arasındaki dengeyi yansıtır: laktatın üretilme hızı ile temizlenip kullanılma hızı. Egzersizin en başında çoğu zaman küçük bir erken çıkıntı görülür: çalışan kasların ani ATP talebi, kardiyovasküler sistem oksijen iletimini tam olarak yükseltmeden önce glikolizi tetikler; böylece bir miktar laktat birikir ve kalp atım hızı ile kılcal perfüzyon yetiştiğinde yeniden geri çekilir. Şiddet tırmandıkça, piruvat mitokondrilerin oksitleyebileceğinden daha hızlı birikir, daha fazlası laktatın dönüşür ve sonunda üretim temizlenmeyi geride bırakır. Önemlisi, bunun nerede gerçekleşeceğini belirleyen etmenlerin birçoğu kılcal yoğunluğu, mitokondri hacmi ve laktat taşıyan taşıyıcıların yoğunluğu kendileri de antrenmanla değiştirilebilir (Johansen et al., 2022; Wahl et al., 2017). Eğrinin sabit bir kader değil, antrenmanın kaydırabileceği hareketli bir hedef olmasının nedeni tam da budur.

Şekil 1 kelimelerle: eğri üzerindeki iki açıklama

Şekildeki her işaretli noktaya bir açıklama bağlamak yararlı olacaktır. Soldan sağa okuyarak:

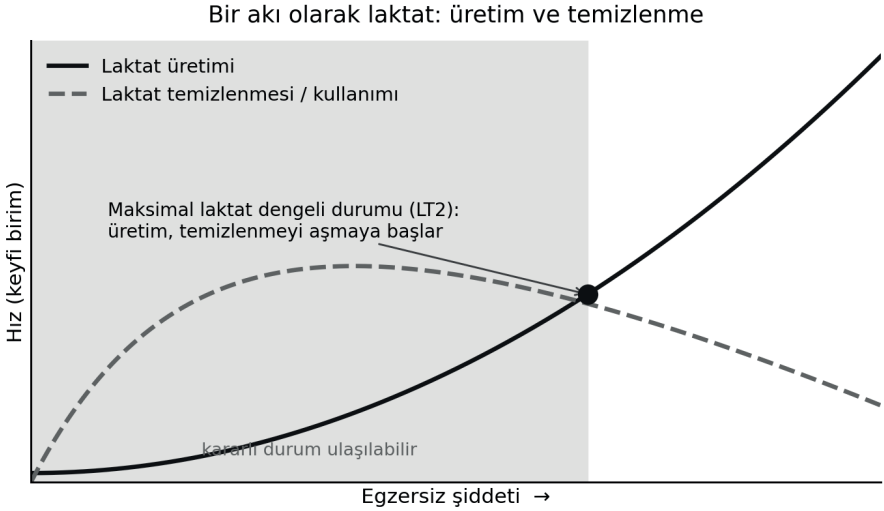
LT1, aerobik eşik (alt dönüm noktası). Kan laktatının dinlenme değerlerinin üzerine ilk sapması; geleneksel olarak $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ dolayında. Bu

şiddetin altında egzersiz saatlerce rahatça sürdürülebilir; vücut ağırlıklı olarak aerobik enerjiye dayanır ve yüksek oranda yağ yakar. Bu, yararlı antrenman bandının tabanıdır.

LT2, anaerobik eşik ya da maksimal laktat dengeli durumu (üst dönüm noktası). Laktat üretimi ile temizlenmesinin hâlâ dengelenebildiği en yüksek şiddet; böylece kan laktatı durmadan yükselmek yerine kararlı hâle gelir; geleneksel olarak yaklaşık $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ile ilişkilendirilir. Bu noktanın üzerinde laktatta sürekli bir tırmanış kaçınılmaz olur ve çaba ancak sınırlı bir süre korunabilir. Bu, yararlı antrenman bandının tavanıdır.

3.3 Üretim ile temizlenme

Kan laktatını bir akı olarak bir leğeni dolduran musluk ile boşaltan giderin dengesi olarak düşünmek, eşiklerin neyi temsil ettiğini netleştirir. Şekil 2 bu fikri canlandırır. Kolay şiddetlerde gider, musluğa rahatça ayak uydurur ve leğendeki düzey neredeyse hiç yükselmez. Şiddet arttıkça musluk daha hızlı açılır; bir süre gider de genişler, ama sonunda musluk gideri geçer ve düzey sınırsız tırmanır (Jones & Carter, 2000; Simões et al., 1999). İki eğrinin kesiştiği şiddet, kavramsal olarak maksimal laktat dengeli durumudur LT2'nin pratik anlamı.



Şekil 2. Bir akı olarak laktat: üretim ile temizlenme arasındaki denge. Kesişimleri, maksimal laktat dengeli durumunu (LT2) işaretler; antrenman “gideri” genişletir.

Bu çerçeve aynı zamanda dayanıklılık antrenmanının performansı neden iyileştirdiğini bir bakışta açıklar. Gideri genişleten her şey, daha fazla

mitokondri, daha fazla kılcıl damar, daha fazla laktat taşıyıcısı, koşucunun aynı laktatta daha yüksek bir güç çıktısını ya da aynı güç çıktısını daha düşük bir laktatta üretmesini sağlar. Kesişim noktası sağa kayar. Norveç modeli, özünde, tam da bu gider-genişleten uyumları olağanüstü verimli, tekrarlanabilir ve sürdürülebilir biçimde uyaran bir yöntemdir.

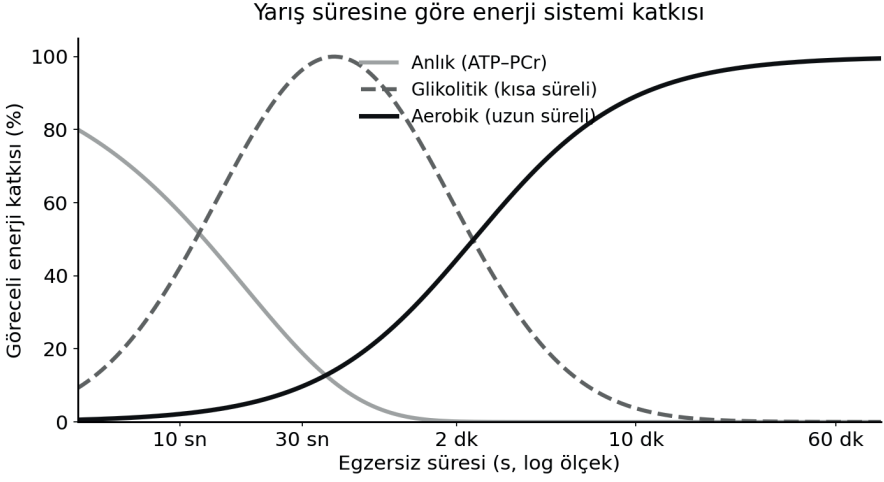
3.4 Eşik dayanıklılık performansını neden öngörür

Egzersiz biliminde ısrarla karşılaşılan bir bulgu, maksimal oksijen alımının VO_2 maks antrenmanlı dayanıklılık sporcuları arasında performansı görece zayıf bir biçimde ayırt etmesidir. İki koşucu neredeyse özdeş VO_2 maks değerlerini paylaşabilir, yine de yarış sonuçlarında belirgin biçimde ayrışabilir. Onları ayıran şey, büyük ölçüde, o aerobik tavanın sürdürdükleri orandır laktat eşikindeki hız ve maksimal laktat dengeli durumundaki oksijen alımı gibi ölçütlerle yakalanır. Örneğin profesyonel ile yalnızca iyi bisikletçileri karşılaştıran çalışmalar, benzer VO_2 maks ama dayanılmaz laktat birikimi olmadan çok yüksek iş yüklerini sürdürebilme açısından kesin bir profesyonel üstünlük bulmuştur; bu, hem oksijen iletiminde hem de laktat kullanımında bir üstünlüğü yansıtır (Aaron et al., 1992; Scharhag-Rosenberger et al., 2010). Yararlı bir antrenörlük özdeyişi bu asimetriyi yakalar: VO_2 maks, bir sporcunun tavanının motorun büyüklüğünün bir ölçüsüdür; eşikteki tempo ya da güç ise o motoru kullanabilme yetisinin güncel, antrenmanla değiştirilebilir bir ölçüsüdür. Antrenman çalışmalarının bir meta-analizi, neredeyse her uyarının hareketsiz kişilerin eşikini yükselttiğini, ama zaten iyi kondisyonlu sporcuların eşikini kaydırmanın gerçekten zorlu bir antrenman gerektirdiğini; VO_2 maks'ın ise iyileştirilmesinin görece inatçı olduğunu bulmuştur. Elit koşucularda maksimal laktat dengeli durumundaki hız ve oksijen alımı büyük ölçüde antrenmanla değiştirilebilir ve performans gelişiminin çoğunu açıklar; oysa VO_2 maks pek az değişir (Brooks, 2017; Mitchell & Crandall, 2017). Bir programı VO_2 maks çalışması yerine eşik etrafında kurmanın bilimsel gerekçesi budur: dayanıklılık performansını en çok öngören ve antrenmana en çok yanıt veren değişkeni hedef alır.

3.5 Enerji sistemleri ve yarış süresi

Bir arka plan bilgisi daha, modelin vurgusunu anlaşılır kılar. Vücut, göreceli katkıları çabanın ne kadar sürdüğüne bağlı olarak değişen, üç örtüşen enerji sistemine dayanır (Şekil 3). Anlık sistem (depolanmış ATP ve fosfokreatin) ilk birkaç saniyede baskındır; kısa süreli glikolitik sistem, kabaca yarım dakika ile birkaç dakika arasındaki çabalarda zirve yapar; uzun süreli aerobik sistem ise birkaç dakikayı aşan her şeyin başlıca tedarikçisi olur. 1500 m'den itibaren hemen hemen her yarış ezici biçimde aerobik olduğundan, mesafe koşucuları

için en büyük performans kaldıraç aerobik sistemdedir ve sürdürülebilir aerobik çalışmanın üst sınırında oturan eşik, o sistemin içindeki en keskin kaldıraçtır.



Şekil 3. Egzersiz süresine göre üç enerji sisteminin göreceli katkısı. Birkaç dakikayı aşan her şeyde aerobik metabolizma baskındır neredeyse tüm mesafe yarışlarının yaşadığı yer.

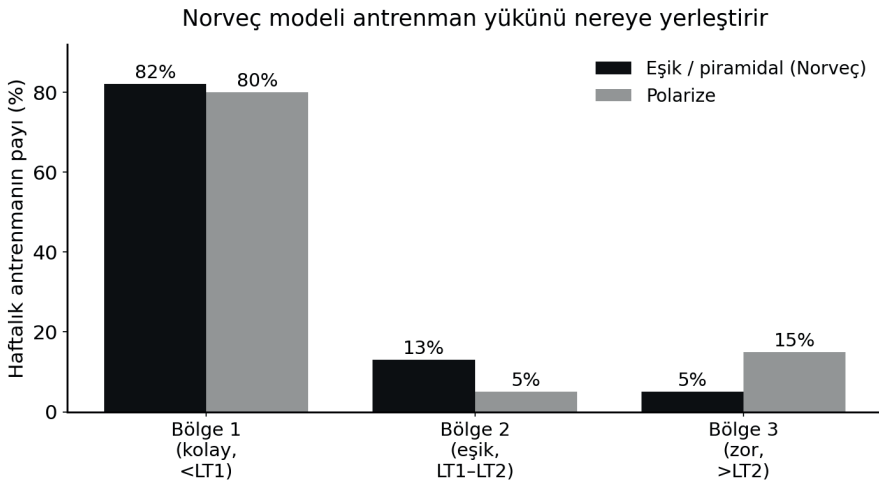
4. Modelin Mantığı: Kontrollü Şiddet, Yüksek Hacim

4.1 Temel ödünleşim

Her antrenman seansı, uyarının kalitesi ile yorgunluk ve toparlanma süresi cinsinden dayattığı maliyet arasında bir ödünleşimin bir yerinde durur. Tek bir maksimal-laktat-dengeli-durum seansı LT_2 'nin tam üzerinde, zorlu ve sürekli bir tempo koşusu güçlü bir uyarın verir, ama yüksek bir maliyetle: ertesinde kolay günleri zorunlu kılan bir yorgunluk biriktirir ve böylece bir haftada bu tür çalışmadan ne kadar yapılabileceğini sınırlar (Oliver Faude et al., 2009; Heck et al., 1985). Norveç içgörüsü şudur: her seansı kasıtlı olarak LT_2 'nin altında, aerobik bandın üst kısmında tutarak, seans başına maliyet çarpıcı biçimde düşerken aerobik uyarının kalitesi büyük ölçüde korunur. Daha ucuz seanslar bu durumda çok daha sık hatta günde iki kez yapılabilir; böylece yüksek kaliteli, eşik-yakını koşunun toplam haftalık hacmi, zorlu-tempo modelinin izin verdiğinin epeyce üzerine çıkar. Uygulayıcılar arasında dolaşan bir slogana göre: daha hızlı yarışmak için (biraz) daha yavaş antrenman yapın. Sporcu, bilinçli biçimde kendini geri tutar çünkü kırmızı çizgiyi aşmak, toparlanmada orantısız bir bedel ödemek demektir ve çünkü ödül, herhangi bir tek parlak seans değil, aylar boyunca kaliteli hacmin amansız birikimidir (Kelemen et al., 2024, 2025).

4.2 Modelin şiddet-dağılımı tartışmasındaki yeri

Spor bilimciler bir sporcunun antrenmanını çoğu zaman, toplam hacminin üç geniş şiddet bölgesine nasıl dağıldığına göre tanımlar: LT1'in altındaki kolay çalışma, LT1 ile LT2 arasındaki orta çalışma ve LT2'nin üstündeki zorlu çalışma. Tartışmaya iki etkili şablon hâkimdir. Polarize model, antrenmanı uçlarda yoğunlaştırır bol miktarda kolay koşu, artı LT2 üzerinde küçük ama güçlü bir doz ve ortayı kasıtlı olarak en aza indirir (O. Faude et al., 2009; Wahl et al., 2017). Eşik ya da piramidal model ise büyük bir kolaylığı bazı korur, ama antrenmanın anlamlı bir dilimini o orta, eşik bandına yerleştirir. Norveç çift eşik yaklaşımı en iyi şu şekilde okunur: eşik/piramidal felsefenin gelişmiş, laktat kontrollü bir ifadesi devasa bir kolay baz, özenle dozlanmış esaslı bir eşik-bandı çalışma bloğu ve LT2 üzerinde yalnızca az miktarda çalışma (Şekil 4).



Şekil 4. Eşik / piramidal bir dağılımın (Norveç modeli) polarize bir dağılımla şematik karşılaştırması. Yüzdeler örnekleyicidir, reçete değildir.

Yüzdeler reçete değil örnekleyicidir ve bireysel programlar değişir; ama karşıtlık temel noktayı yakalar: polarize bir program orta bölgeyi kaçınılması gereken bir şey olarak görürken, Norveç modeli o bölgenin kontrollü bir dilimini sıkı şiddet kontrolüyle tolere edilebilir, dolayısıyla tekrarlanabilir kılınmış olarak kaliteli antrenmanın baş köşesine yerleştirir.

4.3 Bir tempo değil, bir şiddet olarak eşik

Modeldeki belki de en önemli kavramsal hamle ve çeviride en sık yitirilen eşğin saate sabitlenmiş bir tempo olarak değil, bir çaba ya da şiddet bandı

olarak ele alınmasıdır. Bir koşucu yalnızca bir kez test edilip, laktatın sihirli bir sayıyı geçtiği hız kendisine verilip, sonsuza dek her eşik seansını tam o tempoda koş diye gönderilmez. Belirli bir tempodaki kan laktatı yalnızca tempoya değil, tempoyun ne kadar süreyle korunduğuna ve seansın yapısına da bağlıdır (Messias et al., 2017; Poole & Jones, 2017). Aralıklı bir formatın merkezî olmasının nedeni budur: tekrarların uzunluğunu ve hızını ve aralarındaki toparlanmayı değiştirerek, sporcu birkaç farklı tempoda kısa tekraralarda 5 km yarış temposuna kadar inerek bile koşabilirken, genel fizyolojik yük “eşik” düzeyinde kalır. Bu yeniden çerçeveleme, yöntemin yayılışını izleyen antrenörlerin deneyiminde tekrar tekrar görülen doğrudan bir pratik sonuç doğurur. Eşiği tek bir tempo olarak düşünmeye alışkın koşucular onu fazla tahmin etme eğilimindedir ve bu yüzden eşik seanslarını fazla hızlı koşar (Iannetta et al., 2020; Millet et al., 2010). Bir tempo hedefinin peşinden gitmek yerine, gerçek bir eşik şiddetini laktatla, kalp atım hızıyla ya da iyi kalibre edilmiş bir çaba duygusuyla doğrulanmış olarak tutma disiplini, gerçek bir çift eşik seansını, bir güne tıktırılmış iki sıradan tempo koşusundan ayıran şeydir.

4.4 Sürekli koşular yerine neden aralıklar

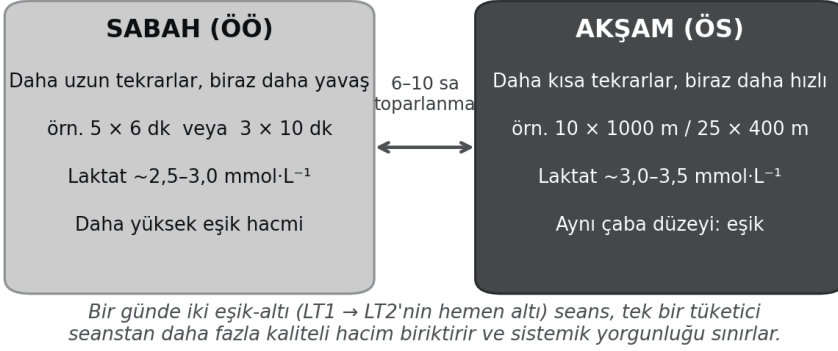
Norveç seansları neredeyse tamamen sürekli tempo koşusundan değil, aralıklardan kurulur ve bunun nedeni doğrudan yukarıdaki mantıktan gelir. Tekrarlar arasındaki kısa toparlanmalar, kan laktatının örneklenmesine ve temponun sporcu hedef pencerede tutacak biçimde ayarlanmasına izin verir; LT2'nin üzerine kaymadan, istenen şiddette daha büyük bir toplam hacmin tamamlanmasını sağlar; ve ortalama fizyolojik maliyeti eşikte tutarken tek tek tekraralarda daha hızlı koşmaya olanak tanır. Sürekli tempo koşusu ise, tersine, şiddette yukarı doğru kaymaya eğilimlidir, doğal örnekleme noktaları sunmaz ve yorgunluğu daha hızlı biriktirir. Aralıklar, yüksek hacimli ve kesin biçimde kontrol edilen eşik çalışmasını pratik kılan mekanizmadır.

5. Modelin Yapısı: Ayrıntılar

5.1 Çift eşik günü

Modelin imza birimi çift eşik günüdür: aynı gün içinde, tipik olarak biri sabah biri akşam yapılan ve aralarında birkaç saatlik toparlanma bulunan iki eşik seansı (Şekil 5). Yaygın bir örüntü, daha uzun ve biraz daha yavaş tekrarları sabah seansına eşik hacminin büyük kısmını biriktirerek ve daha kısa, biraz daha hızlı tekrarları akşama yerleştirir; her iki seans da kontrollü bir eşik şiddetinde tutulur. Belirleyici kısıt şudur: hiçbir seans tükeniş noktasına dek koşulmaz; her biri LT2'de ya da onun hemen altında tutulur, böylece ikincisini yapmak mümkün olur ve ertesi günkü antrenman aksamamış olur.

Tek bir çift eşik günü



Şekil 5. Tek bir çift eşik gününün yapısı: iki kontrollü eşik-altı seans sabah daha uzun ve daha yavaş, akşam daha kısa ve biraz daha hızlı aralarında birkaç saatlik toparlanmayla.

Elit uygulayıcılar için bildirilen temsili seans eşleşmeleri yapıyı örnekler. Sabahki beş kez altı dakika ya da üç kez on dakika, akşamki on kez 1000 m ya da yirmi beş kez 400 m ile eşleştirilebilir; uzun tekrarlar daha sabit bir şiddette hacim kurarken, daha kısa akşam tekrarları aynı genel eşik maliyetinde biraz daha hıza izin verir. Menü tam olarak değişse de mimari tutarlıdır: birleşik hacmi, tek bir zorlu seansın güvenli biçimde sağlayabileceğini aşan, iki maksimal altı laktat kontrollü seans. Yükü iki seansa bölmek, sporunun belirgin biçimde daha az fizyolojik gerilimle hacim biriktirmesine olanak tanır ve gün be gün antrenmanın sürekliliğini korur.

5.2 Haftalık ritim

Çift eşik günleri yalıtık biçimde yapılmaz; kalan günleri kolay aerobik koşunun, ara sıra yokuş ya da kuvvet çalışmasının ve bir uzun koşunun baskın olduğu bir haftanın içine oturlar. Yaygın olarak alıntılanan bir örüntü, çift eşik günlerini hafta ortasına çoğu zaman salı ve perşembe yerleştirir; haftanın ilerleyen bir gününde üçüncü bir kaliteli gün bulunur ve haftanın geri kalanı, aerobik bazı geniş tutarken toparlanmaya izin veren kolay kilometrelerle doldurulur. Şekil 6, böyle temsili bir baz-dönem haftasını çizer. Belirleyici özellik, bunu kaldırabilen az sayıdaki sporunun taşıdığı yüksek genel kilometredir; buna, “zorlu” günlerin aslında geleneksel, içini boşaltan anlamda pek de zorlu olmaması eşlik eder (Bishop, 2003; Lockie et al., 2012).

Temsili bir baz dönem antrenman haftası (kutulu = çift eşik günleri)

Sabah	kolay	kolay	kolay	eşik	kolay	eşik	kolay
Akşam	eşik	eşik	kolay	eşik	dinlenme	eşik	kolay
	Pzt	Sal	Çar	Per	Cum	Cmt	Paz

Şekil 6. Temsili bir baz-dönem antrenman haftası. Gölgeleştirme seans şiddetini gösterir; kutulu sütunlar çift eşik günlerini işaretler.

5.3 Dönemleme, bloklar ve yükseklik

Model temelde bir baz-dönem sistemidir. Eşik çalışmasının çok yüksek sıklığı haftada iki, bazen üç kez uzun hazırlık dönemi boyunca sürdürülür; bu dönem aylarca sürebilir. Yarışma yaklaştıkça vurgu kayar: saf eşik çalışmasının hacmi kısılır ve yarışa özgü, daha yüksek şiddetli çalışmanın payı artırılarak sporcu yarışmanın taleplerine doğru keskinleştirilir. Baz dönemi içinde antrenman çoğu zaman kümelenmiş bloklara ayrılır örneğin yoğunlaşmış bir aerobik eşik çalışması döneminin ardından bir toparlanma evresi böylece toparlanma pencerelerinden yararlanır ve giderek artan yüklere uyum sağlanır. Yükseklik antrenmanı, Norveç yaklaşımına özgü olmasa da, tekrar eden bir rol oynar. Dönemlenmiş yükseklik blokları, eşik gelişimini ilerletmek ve daha düşük oksijen erişilebilirliğinin ek stresi altında dayanıklılığı kurmak için kullanılır; elit uygulayıcılar sık sık yükseklik kamplarını çift eşik yapılarıyla birleştirir. Yüksekliğe kolay erişimi olmayan sporcular için model deniz seviyesinde de işler; yükseklik bir önkoşul değil, bir yükselticidir (Messias et al., 2017; Wahl et al., 2017).

5.4 Modeli yüzeyde benzer bir bloktan ayırmak

Çift eşik günü iki hızlı seans ve yüksek bir günlük kaliteli koşu hacmi içerdiğinden, bir başka iyi bilinen yapıyla antrenör Renato Canova ile ilişkilendirilen “özel blok” ile kolayca karıştırılır. Benzerlik yüzeyseldir ve fark öğreticidir (Hov et al., 2023; Wahl et al., 2017). Bir Canova özel bloğu, kasıtlı, ara sıra kullanılan bir aşırı yüklem değildir son derece yorucu, önemli ölçüde sürekli koşu içeren, vücuda ağır birikmiş yorgunluk altında hızlı koşmayı

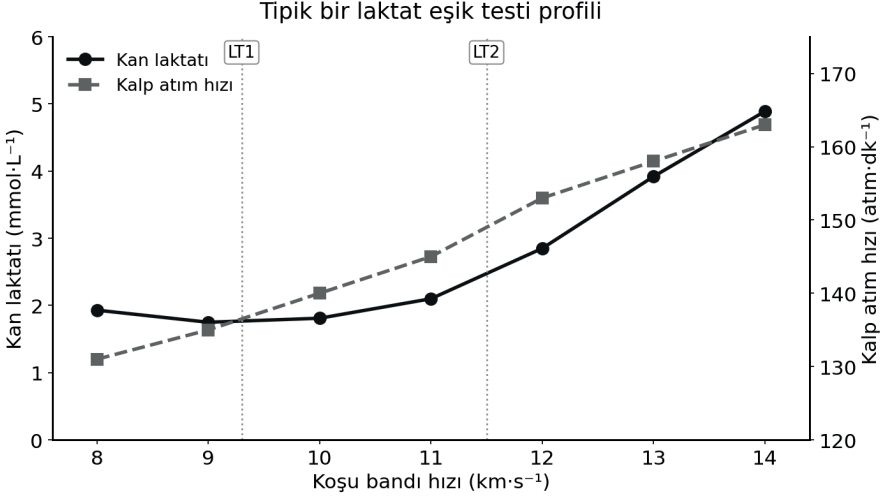
sürdürmeyi öğretmeyi amaçlayan ve ardından uzun bir toparlanma gerektiren bir süperkompansasyon günü. Belirli bir hazırlık evresi içinde, çoğu zaman maratoncular için, sporcu ideal olarak dinlenmiş girerek, birkaç kez kullanılır. Çift eşik niyet bakımından neredeyse bunun tersidir (Messias et al., 2017; Tønnessen et al., 2024). Yalnızca aralıklardan oluşur, sürekli koşudan değil; bir çift eşik gününün sonunda biriken yorgunluk, bir özel bloğunkinden çok daha düşüktür; ve nadir bir aşırı yüklenme olmak yerine, aylarca haftada iki kez tekrarlanan sürdürülebilir bir temel öğedir. Amaç, vücuda aşırı yorgunluğa dayanmayı öğretmek değil, eşik şiddetinde mümkün olan en yüksek hacme ulaşmaktır. Bunların farklı amaçlara ve çok farklı maliyetlere sahip farklı araçlar olduğunu tanımak, her ikisini de yanlış uygulamaya karşı en önemli güvencelerden biridir.

6. Antrenmanı Kontrol Etmek: Ölçüm ve İzleme

Kesin şiddetle tanımlanan bir model, ölçümün kalitesiyle ayakta durur ya da çöker. Bu bölüm, hedef şiddetin pratikte nasıl belirlendiğini ve denetlendiğini ele alır.

6.1 Kan-laktat testi

Başvuru aracı, doğrudan kan laktat ölçümüdür. Küçük bir kılcal örnek en yaygın olarak parmak ucundan ya da kulak memesinden alınır ve saniyeler içinde litrede milimol cinsinden bir değer veren taşınabilir bir laktat ölçerle analiz edilir. Artımlı bir eşik testi sırasında sporcu giderek daha hızlı aşamalarda (çoğu zaman üçer dakikalık) koşar; aşamalar arasında bir örnek toplamak ve kalp atım hızını kaydetmek için kısa bir mola verir; laktat eşik bandını geçene ya da sporcu yüksek bir algılanan zorluk düzeyine ulaşana dek devam eder. Laktatın hıza ve kalp atım hızına karşı çizilmesi, bireyin eğrisini ve eşiklerini verir; bunlar da antrenman bölgelerini tanımlar (Şekil 7).



Şekil 7. Tipik bir artımlı laktat-eşik testi profili; kan laktatını ve kalp atım hızını hıza karşı çizer, LT1 ve LT2 işaretlenmiştir.

En iyi sonuç için bu tür testler standartlaştırılır: sporculardan tipik olarak öncesinde yaklaşık yarım gün zorlu egzersizden ve birkaç saat boyunca yiyecek, alkol, kafein ve tütünden kaçınmaları istenir; böylece eğri, geçici karıştırıcıları değil, fitness'ı yansıtır. Çift eşik seanslarının içinde elit sporcular laktatı düzenli olarak çoğu zaman her bir ila üç tekrarda bir örnekler ve değeri hedef bandın içinde tutmak için tempoyu ya da toparlanmayı yerinde ayarlar. Böylece şiddet, dışsal bir tempo hedefiyle değil, içsel, fizyolojik bir sinyalle belirlenir; aynı “eşik” etiketinin bir tempo aralığını kapsamasına olanak tanıyan da tam olarak budur.

6.2 Eşığı eğri üzerinde bulma yöntemleri

Test verilerinden eşığı saptamak için birkaç yerleşik teknik vardır ve bunları bilmek değerlidir, çünkü her zaman birbiriyle uyumsuzlar:

Sabit kan-laktat ölçütleri. Belirli bir laktat değerine karşılık gelen hızı ya da gücü okumak için klasik olarak aerobik eşik için $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ve anaerobik eşik için $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ vekil değerleri kullanılır. Basit ve yaygın, ama sabit değerler nüfus ortalamalarıdır ve bazı bireylere kötü uyar.

Küçük sabit-artış ölçütleri. Ardışık basamaklara yanıt olarak tanımlı bir yükselişi (ör. 0,5 ya da $1,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) tetiklemeyen en yüksek iş hızını belirlemek.

Regresyon / büküm yöntemleri. Eğrinin düz taban kısmına ve dik yükselen kısmına ayrı doğrular oturtup kesişimlerini eşik olarak almak.

D-maks yöntemi. İlk ve son laktat noktaları arasında düz bir çizgi çekip, eğri üzerinde o çizgiden en uzak noktayı bulmak; daha yinelenebilir otomatik yaklaşımlardan biri olarak yaygın kabul görür ve artık ikinci eşiği bulmak için çoğu zaman standart olarak kullanılır.

Maksimal laktat dengeli durumu (MLSS). Altın standart ama zahmetli yaklaşım: laktatın zaman içinde kararlı kaldığı en yüksek iş yükünü bulmak için ayrı günlerde bir dizi uzatılmış sabit-şiddet çabası. LT2'yi doğrudan ölçer, ama rutin kullanım için pratik değildir.

Araştırma literatürünün desteklediği dürüst konum şudur: analiz yöntemi, testin tutarlılığından daha az önemlidir; özellikle sabit-değer ölçütleri, alta yatan fizyolojinin kusurlu göstergeleridir. Bir bireyi bir sezon boyunca izlemek için öncelik, protokolü testten teste özdeş tutmaktır; böylece egrideki değişiklikler anlamlı olur.

6.3 Laboratuvar erişimi sınırlı olduğunda: laktat için vekiller

Kitlesel pazara uygun, sürekli, giyilebilir laktat izlemesi henüz mevcut değildir; araştırma ve klinik ortamlar için umut verici cihazlar geliştirilmiştir, ama yaygın erişilebilir bir tüketici ürünü defalarca ertelenmiştir. Taşınabilir parmak ya da kulak memesi delme ölçerleri işe yarar, ama pahalıdır, bir miktar teknik beceri gerektirir ve üreticilerin kendi yönergelerine göre klinik kullanım için tasarlanmıştır; bu da saha kullanımı için pratik ve hukuki kayıtlar taşır (Wehrlin & Marti, 2006; Wilber & Pitsiladis, 2012). Bu nedenle çoğu koşucu ve antrenör laktatı doğrudan ölçemez ve model vekillerle yaklaştırılmak zorundadır.

Kalp atım hızı. Eşikler ve bunlara karşılık gelen kalp atım hızları bir kez belirlendikten sonra ideal olarak bir laboratuvar testinde, ya da bir saha testinden tahmin edilerek göğüs bandı kalp atım hızı ölçeri, bir sporcunun amaçlanan bantta kaldığının en pratik günlük kontrolünü sunar.

Algılanan zorluk derecesi ve konuşma testi. Bazı araştırmalar orta düzeyde bir algılanan-zorluk değerini bir eşik çabasıyla ilişkilendirir; konuşabilme yetisi de kaba bir ölçüt sağlar: hâlâ tam cümleler kurabilen bir sporcu büyük olasılıkla eşiğin altındadır; bir ya da iki kelimelik yanıtlara düşmüş biri ise muhtemelen anaerobik bölgeye kaymıştır. Bu öznel araçlar doğrudan ölçümden çok daha az güvenilirdir ve bunlara aşırı güvenmek, kazara fazla zorlu antrenman yapmanın başlıca yollarından biridir.

Kritik tempo / fonksiyonel eşik. Seansları yakın tarihli en iyi bir tempoya, sabit bir süre ya da mesafe üzerinden (örneğin zorlu bir 20–30 dakika, ya da bir 5–10 km yarış temposu referansı) bağlamak, eşğin elde edilmesi kolay ve makul ölçüde tekrarlanabilir, performans temelli bir tahminini sağlar.

6.4 Hazır olma ve yük yönetimi

Model tekrarlanan kaliteli günlere dayandığından, bir sporcunun işi ne kadar iyi soğurduğunu izlemek verimli antrenmandan aşırı zorlanmaya devrilmemek için temel önem taşır. Basit ve yaygın kullanılan bir araç, “trafik ışığı” hazır-olma sistemidir: normal bir seans için yeşil, dikkat ve değişiklik için sarı, seansı kısa kesmek için kırmızı; sabah kalp atım hızı, seans içi laktat ve öznel yorgunluk gibi girdilerle yönlendirilir. Aynı saha-testi araç takımı eşikleri periyodik olarak yeniden belirleyebilir; örneğin son yirmi dakikadaki ortalama kalp atım hızının eşik kalp atım hızına yaklaştığı 30 dakikalık tek başına bir zaman denemesi, ya da kalp atım hızının düzleşmeye başladığı noktanın izlendiği bir dizi artan pist tekrarı (Sakamoto et al., 2025; Varillas-Delgado et al., 2022).

6.5 İşlenmiş bir örnek: gerçek bir testten antrenman bölgelerine

Akl yürütme zincirini gerçek sayılarla baştan sona görmek yardımcı olur. Aşağıdaki veriler, bir koşucunun (vücut kütlesi 73 kg) %1 eğimli bir koşu bandında, üçer dakikalık aşamalar ve aralarında kısa bir örnekleme molasıyla yapılan bir laboratuvar laktat-eşik testinden gelir. Her aşamada kan laktatı, kalp atım hızı, algılanan zorluk ve oksijen alımı kaydedildi.

Aşama	Hız (km/s)	KAH (atım/dk)	AZD	VO ₂ (ml/kg/dk)	Laktat (mmol/L)
Dinlenme	0	—	—	—	1,85
1	8	131	11	31	1,93
2	9	135	11	35	1,75
3	10	140	13	37	1,81
4	11	145	14	40	2,10
5	12	153	15	43	2,85
6	13	158	17	46	3,92
7	14	158	20	48	4,89

Eğri okunduğunda, laktat erken aşamalar boyunca esas olarak düz kalır oksijen iletimi yetişirken hafifçe düşer bile ardından sürekli yükselişine başlar. Bu verilerin analizi aerobik eşği (LT1) yaklaşık 9,3 km/s’de, 137 dolayında bir kalp atım hızında ve 12 dolayında bir algılanan zorlukta; anaerobik eşği

(LT2) ise yaklaşık 11,5 km/s'de, 146 dolayında bir kalp atım hızında ve 15 dolayında bir algılanan zorlukta konumlandırıldı. Bu iki çapa, koşucunun antrenmanını bölgelere ayırır:

Bölge	Şiddet	Hız (km/s)	Kalp atım hızı	AZD	Sürdürülebilirlik
T1	Orta (LT1'in altı)	< 9,3	< 137	< 12	> 3 sa
T2	Ağır (LT1-LT2, alt)	9,3-10,4	137-142	12-13	1-3 sa
T2	Ağır (LT1-LT2, üst)	10,4-11,5	142-146	13-15	30-90 dk
T3	Şiddetli (LT2'nin üstü)	> 11,5	> 146	> 15	2-12 dk

Bu koşucu için çift eşik bandı kabaca 9,3 ile 11,5 km/s arasında yer alır; eşik aralık çalışmasının büyük kısmı ağır bölgeye yöneltilir laktatla (yaklaşık 4 mmol·L⁻¹'nin altında tutularak), kalp atım hızıyla (146 dolayında sınırlanarak) ya da hisle (cümleler hâlâ mümkün, algılanan zorluk düşük-orta on'lar civarında) denetlenerek. Kolay aerobik koşu 9,3 km/s'nin altında otururdu ve yalnızca az miktarda çalışma 11,5 km/s'nin üzerine çıkardı. Aynı rapor bir antrenman bloğunun ardından tekrarlanırsa, eğrinin kayıp kaymadığını ortaya koyardı: aynı laktat, kalp atım hızı ve çabada daha yüksek bir hız, eşğin ve onunla birlikte koşucunun sürdürülebilir yarış temposunun iyileştiğini doğrulardı (Buchheit & Laursen, 2013; Gonzalez et al., 2024).

7. Hedef Pencere: Neden 2-4 mmol·L⁻¹

Modelin hemen her tanımı bir sayıya döner: kan laktatı kabaca litrede iki ila dört milimollük bir bantta tutulur. Bu pencere keyfi değildir daha önce ele alınan iki eşikle tanımlanır. Alt kenarı LT1'e, aerobik eşığe yakın, 2 mmol·L⁻¹ dolayında oturur; üst kenarı LT2'ye, anaerobik eşığe ya da maksimal laktat dengeli durumuna yakın, 4 mmol·L⁻¹ dolayında oturur (Casado et al., 2023; Gualtieri et al., 2023). Bu bandın içinde antrenman yapmak, laktatın kontrolsüz biçimde yükseldiği ve yorgunluğun hızla biriktiği bölgeye taşmadan, sürdürülebilir aerobik şiddetin üst sınırlarında çalışmak demektir (Şekil 8).

Beş bölgeci şiddet modeli

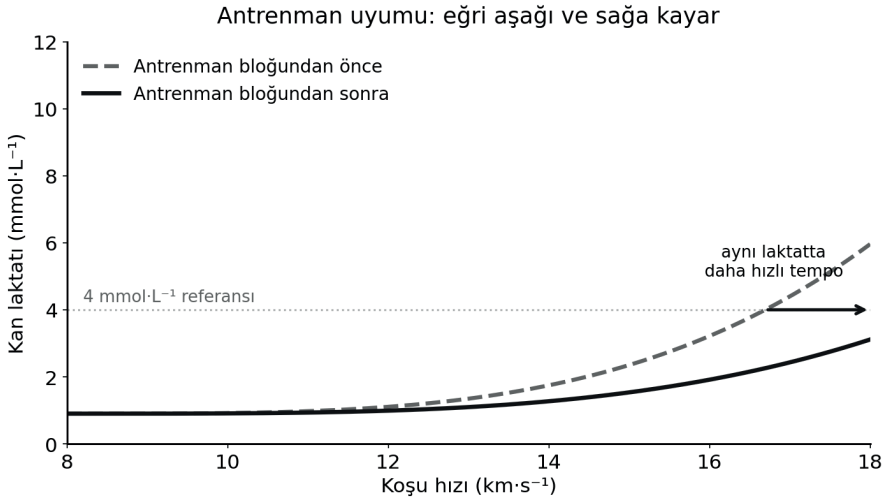
Bölge 1	Kolay aerobik / toparlanma	Laktat ≤ 2 mmol	60-70%	Çift eşik hedefi
Bölge 2	Aerobik dayanıklılık	Laktat 2-3 (LT1)	70-80%	
Bölge 3	Eşik (LT)	Laktat 3-5 (\rightarrow LT2)	80-90%	
Bölge 4	VO ₂ maks / yarış temposu	Laktat 5-10 mmol	90-95%	
Bölge 5	Anaerobik hız	Laktat 8+ mmol	95-100%	

Şekil 8. Beş bölgeci bir şiddet modeli. Çift eşik hedefi, anaerobik eşiğin hemen altında, üst aerobik / eşik bandında yer alır.

Pratikte elit sporcular çoğu zaman bandın tamamının izin verdiğiinden daha da temkinli davranır. Ingebrigtsen'lerin seanslarına dair raporlar 2,0-3,0 mmol·L⁻¹'ye daha yakın bir hedef tanımlar; bazı daha kolay eşik seansları 2,0 mmol·L⁻¹'de ya da altında tutulur, daha zorlu olanlar ise 3,0-3,5 mmol·L⁻¹'ye doğru çıkar. Modeli popülerleştiren antrenörlük kaynaklarındaki genel rehberlik, çoğu sporcu için "tatlı noktayı" 2-3 mmol·L⁻¹ dolayına yerleştirir. Birleştirici ilke ölçülülüktür: sporcu, işin tolere edilip tekrarlanabilmesi için kasıtlı olarak üst eşiğin altında kalır. Açık sözlü olmakta yarar var: kullanışlı sabit sayılar aerobik eşik için 2 mmol, anaerobik eşik için 4 mmol yaklaşıklardır (O. Faude et al., 2009; Millet et al., 2010). Bireysel eşikler daha yüksek ya da daha düşük laktat değerlerine düşebilir; modelin evrensel bir rakam dayatmak yerine her sporcunun kendi eğrisini ölçmeyi vurgulamasının nedeni tam da budur. Pencere, bir doğa yasası değil, iki gerçek fizyolojik olaya çapalanmış pratik bir buluşsal kuraldır.

8. Antrenmanın Gerçekte Değiştirdiği Şey

Model iyi uygulanırsa, hem fizyolojik olarak hem de test grafiğinde ne görmeyi beklemeli? Eşik odaklı başarılı antrenmanın belirleyici imzası, bir antrenman bloğu boyunca tüm laktat eğrisinin sağa ve aşağıya kaymasıdır (Şekil 9): herhangi bir tempoda laktat eskisinden düşüktür ve herhangi bir laktat değerine karşılık gelen hız daha yüksektir. Yeni eğriyi eskisinin üstüne bindiren bir izleme testi bu kaymayı görünür kılar; örneğin 4 mmol·L⁻¹ noktasının sağa hareket miktarı, gelişmiş aerobik kapasitenin doğrudan, nicel bir okumasıdır.



Şekil 9. Antrenman uyumu laktat eğrisini aşağı ve sağa kaydırır: aynı kan-laktat değeri artık daha hızlı bir tempoda gerçekleşir. 4 mmol noktasının sağa hareketi, gelişmiş aerobik kapasiteyi niceler.

Bu kaymanın ardındaki hücresel mekanizma, tam da modelin tetiklemek için tasarlandığı uyumlar kümesidir. Bu türden dayanıklılık antrenmanı kılcal yoğunluğu artırır, böylece oksijen çalışan kasa daha kolay iletilir; mitokondri sayısını ve hacmini artırır, böylece piruvatı ve laktatı oksitleme kapasitesi genişler; ve laktatı hücrelere içeri ve dışarı taşıyan monokarboksilat taşıyıcılarının yoğunluğunu artırır, böylece kasın laktatı yakıt olarak alıp kullanma yetisi iyileşir (Shahidi, 2024, 2026). Bunların her biri Şekil 2'nin mecazi giderini genişletir, böylece temizlenme bunaltılmadan önce üretim daha da yükselebilir. Dolayısıyla sporcu aynı kan-laktat maliyetinde daha hızlı bir tempoyu koruyabilir ki eşikteki hız dayanıklılık performansının en iyi öngörücülerinden biri olduğundan, bu oldukça doğrudan biçimde daha hızlı yarışmaya çevrilir. İki nokta daha tabloyu tamamlar. İlki, eğrinin sağa kayması antrenörlük kaynaklarında tekrar tekrar açık bir hedef ve bir antrenman bloğunun işe yarayıp yaramadığını yargılamanın başlıca yolu olarak tanımlanır: onu testten teste izleyin ve eşiği maksimal çıktıya giderek yaklaştırmayı amaçlayın. İkincisi, tüm girişimi güdüleyen pratik zincir sade biçimde ifade edilebilir: daha yüksek bir eşik, uzun süre daha hızlı bir temponun sürdürülebileceği anlamına gelir; ve bir koşucu kendi eşğinde, bir rakibinin kendi eşğinde tutabileceğinden daha hızlı bir tempoyu tutabiliyorsa, o koşucu kazanma eğilimindedir. Fizyoloji ve yarışma mantığı aynı yönü gösterir.

9. Modeli Kullanan Dayanıklılık Koşucuları

Model en güçlü biçimde orta ve uzun mesafe pist koşusuyla ilişkilendirilir, ama uygulaması branşa, sporcuya ve düzeye göre değişir. Bu bölüm bu farklılıkları inceler ve temsili antrenman haftaları sunar. Aşağıdaki planlar, modelin ileri sporcular için tanımlanma biçiminden alınan örnekleyici şablonlardır; reçete değildir ve herhangi bir bireyin programı kişiye göre uyarlanmalı ve kademeli olarak ilerletilmelidir.

9.1 Orta mesafe ile uzun mesafe vurgusu

Orta mesafe sporcusu için (kabaca 800 m–1500 m) zorluk, bu yarışların talep ettiği hızı ve yarışa özgü keskinliği körleştirmeden derin bir eşik geliştirmektir. Model, daha kısa eşik aralıklarının ve anlamlı bir yüksek-şiddetli temposu çalışması bileşeninin bir karışımıyla, hız bazının korunması için toparlanma dikkatle yönetilerek uygulanır. Uzun mesafe sporcusu için (5000 m–10.000 m ve ötesi) vurgu, sürdürülen eşik çalışmasına ve aerobik dayanıklılığın geliştirilmesine doğru kayar; yüksek şiddetli çalışma daha tutumlu kullanılır. Her iki durumda da kolay aerobik baz geniş kalır ve eşik seansları kalitenin motorudur (Doma et al., 2012; Draper & Wood, 2005).

Temsili hafta: orta mesafe sporcusu (800 m–1500 m)

Gün	Sabah seansı	Akşam seansı
Pzt	Kolay 8 km koşu	Eşik: 4 × 5 dk LT temposunda, 2 dk toparlanma (laktat 2–3 mmol bandında)
Sal	Kuvvet (güç ve hareketlilik)	Eşik: 10 × 400 m LT temposunun hemen altında, 1 dk toparlanma
Çar	Kolay 6 km (toparlanma)	Çapraz antrenman ya da darbeyi sınırlamak için kolay 5 km
Per	Eşik: 6 × 1000 m LT'de, 2 dk toparlanma	Hız: 6 × 200 m yarış temposunda, 90 sn toparlanma
Cum	Kısa hızlanmalı kolay 8 km	Dinlenme ya da hafif hareketlilik
Cmt	Çift eşik: 5 × 3 dk LT'de, 1 dk toparlanma	6 × 1 dk LT'nin hemen üstünde, 45 sn toparlanma
Paz	Eşiğin epey altında uzun kolay koşu 12–15 km	—

Temsili hafta: uzun mesafe sporcusu (5000 m–10.000 m)

Gün	Sabah seansı	Akşam seansı
Pzt	Kolay 12 km koşu	Eşik: 6 × 1000 m, 2 dk toparlanma (laktat 2–3 mmol)
Sal	Kuvvet için yokuş hızlanmalı 8 km	Eşik: 4 × 10 dk LT'de ya da hemen altında, 3 dk toparlanma
Çar	Toparlanma günü: çapraz antrenman ya da hafif 10 km	—
Per	Çift eşik: 3 × 2 km LT'de, 2 dk toparlanma	8 × 1 dk LT'nin biraz üstünde, kısa toparlanmalar
Cum	Kısa hızlanmalı kolay 10 km	Kor, hareketlilik, hafif pliometri
Cmt	Uzun eşik: 3 × 15 dk LT'de, 3 dk toparlanma	—
Paz	Çok düşük laktatla uzun kolay koşu 18–20 km	—

İki hafta arasındaki karışık yarışların taleplerini yansıtır: orta mesafe planı, eşik seansları arasına gerçek hız çalışmasını (yarış temposu 200 m tekrarları) örür; uzun mesafe planı ise eşik aralıklarını uzatır ve sürdürülen aerobik hacme daha ağır biçimde yaslanır. Her ikisinde de çift eşik günü yapısal baş köşedir ve uzun pazar koşusu gerçekten kolay tutulur.

9.2 Modeli geliştirmekte olan sporcular için uyarlamak

Yalnızca haftada birkaç kez antrenman yapan genç ya da daha az antrenmanlı sporcular için model olduğu gibi nakledilmez; temel dayanıklılığı, aerobik kapasiteyi ve eşikte kademeli bir iyileşmeyi kurmak üzere elitlerin kullandığı yüksek sıklık, yüksek hacim ya da girişimsel izleme olmadan uyarlanır. Gelişmekte olan bir sporcunun haftası, tek bir kontrollü aerobik-eşik koşusu, birleşik bir eşik-ve-kısa-aralık seansı ve yokuş tekrarları etrafında kurulu bir kuvvet- ve hız-dayanıklılığı günü üzerine kurulu olabilir; şiddet, çoğunlukla kan örneklemesiyle değil, algılanan zorluk ve konuşma testiyle yönetilir (Sierra et al., 2022; Zani et al., 2022). Yol gösterici amaç, kontrollü-şiddetli aerobik çalışma disiplini erken aşılaktır; böylece sporcu sıradan seanslarda şiddeti güvenilir biçimde yönetebildiğini gösterdikten sonra, daha zorlu çift eşik yapıları sonradan devreye sokulabilir.

9.3 Elit düzeyde kavram kanıtı

Modelin en iyi dayanıklılık performanslarını üretebileceğine dair en açık kanıt, önde gelen uygulayıcılarından gelir. 1500 m–5000 m aralığındaki

sporcular en başta Jakob Ingebrigtsen ve kardeşler çift eşik seansları, dikkatle izlenen laktat ve dönemlenmiş yükseklik çalışması temelinde sürdürülen dünya sınıfı bir başarı elde etmiştir; yöntem Olimpiyat şampiyonlukları ve dünya rekorlarının merkezinde yer almıştır. Pistin ötesinde, Norveçli triatletler Kristian Blummenfelt ve Gustav Iden, yakından ilişkili ilkeleri kullanarak büyük etkinliklere hâkim olmuş ve modelin erişiminin dayanıklılık branşları boyunca uzandığını göstermiştir. Ortak iplik, çok yüksek antrenman hacimlerini sürdürürken anaerobik eşiği giderek yükseğe itme yetisidir tam da modelin üretmek üzere tasarlandığı sonuç.

9.4 Beş bölgeyi çerçeve ayrıntılı

Model eşik bandı etrafında dönse de, o bant, antrenörlerin tüm haftayı düzenlemek için kullandığı daha geniş bir şiddet çerçevesinin içinde oturur. Yaygın bir beş bölgeyi şema, her bölgeyi bir kalp atım hızı aralığına, yaklaşık bir kan-laktat aralığına, baskın enerji sistemine, antrenman amacına ve tutulabileceği süreye bağlar. Bir ve iki numaralı bölgeler büyük kolay ve aerobik bazı taşır; üç numaralı bölge eşik bölgesidir çift eşik çalışmasının yuvası; dört ve beş numaralı bölgeler ise sporcuyla yarışmaya yakın keskinleştiren az miktardaki yarış temposu ve saf-hız çalışmasını kapsar.

Bölge	% Maks KAH	Laktat (mmol/L)	Enerji sistemi	Amaç	Bölgedeki süre
1	60–70%	≤ 2	Aerobik	Toparlanma, mesafe-üstü baz	1–6 sa
2	70–80%	2–3	Aerobik	Genel dayanıklılık ("gri" bölge)	—
3	80–90%	3,5–5	Aerobik / anaerobik	Eşik ve dayanıklılık hızı	30 dk–1 sa
4	90–95%	5–10	Anaerobik	Yarış temposu ve VO ₂ maks	2–10 dk
5	95–100%	8+	Anaerobik	Maksimal hız	5–15 sn

Bu şemanın iki özelliği, Norveç modeli bağlamında yoruma değer. İlki, iki numaralı bölge bazen bir "antrenmansız" ya da gri bölge olarak adlandırılır gerçek toparlanma için fazla zorlu, ama en keskin uyumlar için yeterince zorlu değil ki bu, polarize savunucuların orada yaşamaya karşı uyarmasının bir nedenidir. Norveç modeli iki numaralı bölgede oyalanmaktan çok, aerobik bandın üst kenarında ve eşik bölgesinin alt kısmında bilinçli bir denetimle çalışır. İkincisi, üç numaralı bölge kabaca bir saat kadar tutulabilecek bir tempo olarak, "hızlı ama kontrollü" koşulan bir bölge olarak tanımlanır;

daha kısa yarışlara hazırlanan sporcular eşığı yükseltmek için onun üst ucuna doğru antrenman yaparken, maratoncular alt ucunda çalışır. Bu ayrım, daha önce çizilen orta mesafe–uzun mesafe karşıtlığıyla düzgün biçimde örtüşür (Boullosa et al., 2020; Gutiérrez-Hellín et al., 2021).

10. Güçlü Yanlar ve Sınırlamalar

10.1 Yaygın olarak anılan güçlü yanlar

Tükenmeden uyum. Kaliteli çalışmayı daha kısa aralıklara ve çift seanslara bölmek, uzun süreli gerilim olmadan birikimli eşik uyarınının toplanmasına olanak tanır; orta mesafe sporcuları hız bazını korurken, uzun mesafe sporcuları sürdürülen dayanıklılığı kurar her ikisi de kontrollü yorgunluk altında.

Yüksek hacim, düşük yıpranma. Seanslar eşığe yakın ama üzerinde olmadığından, vücut LT2'nin üzerinde sürekli çalışmaya kıyasla çok daha az zorlanır; bu da sporcuyu yıpratmadan yüksek kilometreye izin verir uzun yarışlarda dayanıklılığın amaç olduğu yerde idealdir.

Yarış gereksinimlerine uyarlanabilirlik. Eşik çalışması sporcuları zirve aerobik kapasiteye yaklaştırır ve yarışta yorgunluğa karşı bir tampon sağlar; çift eşik günleri orta mesafe sporcularına, çok fazla hız feda etmeden bir dayanıklılık artışı verir.

Tutarlı, kanıtla uyumlu bir gerekçe. Yaklaşım, dayanıklılık performansını VO₂maks'tan çok eşikle ilişkili ölçütlerin sürüklediği ve bunların zaten formda sporcularda antrenmana en çok yanıt verdiği yönündeki iyi desteklenmiş bulguyla örtüşür böylece model, en çok antrenmanla değiştirilebilir ve en çok öngörücü değişkeni hedef alır.

10.2 Yaygın olarak anılan sınırlamalar

Kaynak yoğun. Modele gerçek bir bağlılık, doğru laktat değerlerine dayanır ve gerekli ekipman yaygın biçimde erişilebilir değildir. Bu olmadan, tam hedef bölgede antrenman yapmayı doğrulamak zordur ve öznel vekillere yaslanmak, fazla zorlu çalışmaya kayma ve aşırı antrenman riskini artırır.

En kısa yarışlar için sınırlı branşa özgü hız. 800 m–1500 m uzmanları için, aşırı dayanıklılık ağırlıklı bir uygulama, bu yarışların nihayetinde gerektirdiği gerçek hız çalışmasını aşındırabilir.

Tekdüzelik riski. Dar bir aralıkla sınırlanan eşik çalışması tekrarlayıcı hâle gelebilir; çeşitli tempolara alışkın sporcular bunu uyarıcı bulmayabilir, bu da motivasyonu zayıflatabilir.

Toparlanma talepleri. Çift eşik günleri hızlı seanslararası toparlanma gerektirir; aşırı kullanım sakatlığına yatkın ya da toparlanma kapasitesi sınırlı sporcular yakın izleme gerektirir.

10.3 En önemli pratik uyarı

Deneyimli antrenörlerden tekrar eden uyarı serttir: tehlike modelde değil, taklidindedir. Çift eşik yaptığını inanan birçok koşucu, aslında çift eşik ile bir özel blogun melezine daha yakın bir şey yapmaktadır tek tek fazla zorlu iki seans çünkü laktat ölçümü olmadan yanlış şiddette koşarlar. Bir sporcu, biraz fazla zorlu seanslardan bir süre yara almadan sıyrılabılır; ama hata belirginleştğinde iş işten geçmiş olabilir ve kendini ya sakatlanmış ya da bir aşırı antrenman çukurunda bulur. Çare, yöntemi en baştan tanımlayan disiplindir: eşiği kontrollü bir şiddet olarak ele alın, kendinizi tavanın altında tutun, şiddeti elinizdeki her yolla doğrulayın ve çift eşik çalışmasının hacmini, elit seans menülerini bir gecede benimseyerek değil, kademeli olarak kurun. Bireysel değişkenlikte de açık sözlü bir ders vardır. Bir sporcuya Olimpiyat altını getiren aynı yaklaşım, bir başkası için ters tepebilir. Hem literatür hem de antrenörlük deneyimi şu tür örnekleri kaydeder: güçlü biçimde hız-yönelimli bir fizyolojiye ve yarış-temposu çalışmasına yatkınlığa sahip bir sporcu, ağır bir eşik vurgusuna kronik yorgunluk, kaybolan keskinlik ve gerileyen yarış sonuçlarıyla yanıt verir; patlayıcı nitelikleri, amansız eşik hacmi tarafından baltalanır. Dürüst sonuç şudur: Norveç modeli birçok dayanıklılık sporcusu için son derece etkilidir, ama evrensel değildir; en iyisi, bir sporcunun yerleşik ihtiyaçlarının yerine körü körüne ikame edilmek yerine, onlarla düşünceli biçimde bütünleştirilmesidir.

11. Sonuç

Norveç çift eşik modeli, özünde, disiplinli bir sabır alıştırmasıdır. Yüksek hacimli aerobik çalışmadan oluşan bir İskandinav geleneğinden doğdu; ayırt edici, laktat kontrollü biçimini 1990'ların sonu ve 2000'lerde binlerce kez kendi kendine uyguladığı testlerle Marius Bakken'den aldı; ve Ingebrigtsen kardeşlerin ve bir Norveçli dayanıklılık sporcuları dalgasının olağanüstü başarısı aracılığıyla dünyaya ulaştı. Fizyolojik temeli, laktatı bir zehir olarak değil bir yakıt ve bir sinyal olarak anlayan çağdaş kavrayış ve sürdürülebilir aerobik şiddet bandını parantez içine alan iki eşiktir LT1 ve LT2. Mantığı, tek bir tüketici çabanın parlaklığının peşinden gitmek yerine, her seansı tekrarlanabilecek kadar kontrollü tutarak çoğu zaman günde iki kez yüksek kaliteli, eşik-yakını çalışmanın haftalık hacmini en üst düzeye çıkarmaktır. Hedefi, o eşiklere çapalanmış ve ölçümle denetlenen, kabaca litrede iki ila dört milimollük bir kan-laktat penceresidir. Ve iyi uygulandığında ödüllü, laktat eğrisinin sağa

doğru yürüyüşüdür aynı fizyolojik maliyette sürdürülen daha hızlı bir tempo, ki bu dayanıklılık performansının özüdür. Modeli düşünen antrenör ya da sporcu için bu bölümün pratik iletisi iki yönlüdür. İlki, ilkeler sağlamdır ve geniş biçimde uygulanabilir: şiddeti kontrol edin, aerobik hacmi kurun, ölçebildiğinizi ölçün ve kademeli olarak ilerleyin. İkincisi, modeli işler kılan kesinlik, aynı zamanda onu yanlış yapmayı kolaylaştıran şeydir; dürüst bir şiddet kontrolü olmadan çift eşik sessizce günde iki zorlu seansa dönüştür ve yöntemin büyük erdemi sürdürülebilirlik kendi karşısına çöker. Tasarlandığı ölçülülükle kullanıldığında, modern dayanıklılık antrenmanının en ikna edici çerçevelerinden biridir. Günde iki kez zorlu antrenman yapmak için bir ruhsat olarak kullanıldığında ise aşırı antrenman çukuruna giden hızlı bir yoldur. Fark, bu modelde her zaman olduğu gibi, kendini geri tutma disiplinindedir.

Kaynakça

- Aaron, E. A., Seow, K. C., Johnson, B. D., & Dempsey, J. A. (1992, May). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol* (1985), 72(5), 1818-1825. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.5.1818>
- Andersen, Ø. E. (2021). *Norske skattemyndigheters foretrukne Diamond League-konkurransplan for Jacob Ingebrigtsen* Handelshøyskolen BI].
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60(6), 2020-2027.
- Bishop, D. (2003). Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483-498. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00002>
- Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyré-Tartaruga, L. A., Gomes da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020, Mar 15). Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports (Basel)*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/sports8030035>
- Brooks, C. (2017). The Effect of a CPET Familiarization Session on Aerobic Capacity (VO2MAX) in Sedentary Middle-Aged Females.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013, May). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Casado, A., Foster, C., Bakken, M., & Tjelta, L. I. (2023). Does lactate-guided threshold interval training within a high-volume low-intensity approach represent the “next step” in the evolution of distance running training? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 3782.
- Cobb, W. M. (1936). Race and runners. *The Journal of Health and Physical Education*, 7(1), 3-56.
- Doma, K., Deakin, G. B., Leicht, A. S., & Sealey, R. M. (2012, 2012/12/01/). The reliability of running economy among trained distance runners and field-based players. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 10(2), 90-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jesf.2012.10.006>
- Draper, S., & Wood, D. (2005). The oxygen uptake response of sprint-vs. endurance-trained runners to severe intensity running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(2), 233-243.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39, 469-490.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>

- Gaskell, S. E., Ruby, B. C., Walker, A. J., Sanchez, O. A., SERFASS, R. C., & LEON, A. S. (2001). Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1841-1848.
- Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Pinzone, A. G., Beyer, K. S., & Townsend, J. R. (2024, Oct 16). Muscle Oxygen Saturation Dynamics During Upper-Body Resistance Exercise. *Sensors (Basel)*, 24(20). <https://doi.org/10.3390/s24206668>
- Gualtieri, A., Rampinini, E., Dello Iacono, A., & Beato, M. (2023). High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. *Front Sports Act Living*, 5, 1116293. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1116293>
- Gutiérrez-Hellín, J., Baltazar-Martins, G., Aguilar-Navarro, M., Ruiz-Moreno, C., Oliván, J., & Del Coso, J. (2021, Jan 8). Effect of ACTN3 R577X Genotype on Injury Epidemiology in Elite Endurance Runners. *Genes (Basel)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/genes12010076>
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6(03), 117-130.
- Hov, H., Wang, E., Lim, Y. R., Trane, G., Hemmingsen, M., Hoff, J., & Helgerud, J. (2023, Feb). Aerobic high-intensity intervals are superior to improve VO₂max compared with sprint intervals in well-trained men. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 33(2), 146-159. <https://doi.org/10.1111/sms.14251>
- Iannetta, D., Inglis, E. C., Mattu, A. T., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Keir, D. A., & Murias, J. M. (2020, Feb). A Critical Evaluation of Current Methods for Exercise Prescription in Women and Men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(2), 466-473. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002147>
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2020, Oct). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Medicine*, 50(10), 1729-1756. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01322-8>
- Johansen, J.-M., Sunde, A., Helgerud, J., & Støren, Ø. (2022). Relationships between maximal aerobic speed, lactate threshold, and double poling velocity at lactate threshold in cross-country skiers. *Frontiers in Physiology*, 13, 829758.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000, Jun). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373-386. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>

- Kelemen, B., Benczenleitner, O., & Tóth, L. (2024). The Norwegian double-threshold method in distance running: Systematic literature review. *Scientific Journal of Sport and Performance*, 3(1), 38-46.
- Kelemen, B., Benczenleitner, O., & Tóth, L. (2025). Emerging trends in distance running training: Bridging science and empirical insights—A narrative review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17479541251356570.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & de Jonge, X. A. J. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1539-1550.
- Messias, L. H. D., Gobatto, C. A., Beck, W. R., & Manchado-Gobatto, F. B. (2017). The Lactate Minimum Test: Concept, Methodological Aspects and Insights for Future Investigations in Human and Animal Models. *Frontiers in Physiology*, 8, 389. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00389>
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010, Jan 1). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1-25. <https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>
- Mitchell, R. D., & Crandall, C. (2017). Validation of the 15 minute balke field test for competitive, adult 5k runners: From treadmill VO₂max testing to enhancing performance. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 5(3), 44-47.
- Płoszczyca, K., Jazic, D., Piotrowicz, Z., Chalimoniuk, M., Langfort, J., & Czuba, M. (2020). Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 12(1), 70.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2017, Apr 1). Measurement of the maximum oxygen uptake Vo(2max): Vo(2peak) is no longer acceptable. *J Appl Physiol (1985)*, 122(4), 997-1002. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01063.2016>
- Sakamoto, A., Matsumoto, Y., Naito, H., & Chow, C. M. (2025, Apr). End-tidal CO(2) and ventilation: Novel markers for assessing performance levels in elite long-distance runners. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 333, 104389. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2024.104389>
- Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Gässler, N., Faude, O., & Kindermann, W. (2010, Jan). Exercise at given percentages of VO₂max: heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.626>
- Shahidi, S. H. (2024). The Temporal Dynamics of Blood Lactate Concentration and Oxygen Consumption Following Supra-Maximal Efforts.

- Shahidi, S. H. (2026). Assessing lactate stability at the minimum lactate steady state velocity in male trained middle-distance runners. *PloS One*, 21(3), e0344573.
- Sierra, A. P. R., Martínez Galán, B. S., de Sousa, C. A. Z., de Menezes, D. C., Branquinho, J. L. O., Neves, R. L., Arata, J. G., Bittencourt, C. A., Barbeiro, H. V., de Souza, H. P., Pesquero, J. B., & Cury-Boaventura, M. F. (2022). Exercise Induced-Cytokines Response in Marathon Runners: Role of ACE I/D and BDKRB2 +9/-9 Polymorphisms. *Frontiers in Physiology*, 13, 919544. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.919544>
- Simões, H. G., Grubert Campbell, C. S., Kokubun, E., Denadai, B. S., & Baldissera, V. (1999, Jun). Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(1), 34-40. <https://doi.org/10.1007/s004210050555>
- Spencer, M. R., & Gatin, P. B. (2001, Jan). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 157-162. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00024>
- Tønnessen, E., Sandbakk, Ø., Sandbakk, S. B., Seiler, S., & Haugen, T. (2024). Training session models in endurance sports: a Norwegian perspective on best practice recommendations. *Sports Medicine*, 54(11), 2935-2953.
- Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B., & Kindermann, W. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, 14(03), 134-139.
- Varillas-Delgado, D., Morencos, E., Gutiérrez-Hellín, J., Aguilar-Navarro, M., Muñoz, A., Mendoza Láiz, N., Perucho, T., Maestro, A., & Tellería-Orrriols, J. J. (2022). Genetic profiles to identify talents in elite endurance athletes and professional football players. *PloS One*, 17(9), e0274880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274880>
- Wahl, P., Manunzio, C., Vogt, F., Strütt, S., Volmary, P., Bloch, W., & Mester, J. (2017, Dec). Accuracy of a Modified Lactate Minimum Test and Reverse Lactate Threshold Test to Determine Maximal Lactate Steady State. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3489-3496. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001770>
- Wehrlin, J. P., & Marti, B. (2006, Feb). Live high-train low associated with increased haemoglobin mass as preparation for the 2003 World Championships in two native European world class runners. *British Journal of Sports Medicine*, 40(2), e3; discussion e3. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019729>
- Whipp, B. J., Ward, S. A., & Wasserman, K. (1987). Respiratory markers of the anaerobic threshold. *The anaerobic threshold: physiological and clinical significance, Advances in Cardiology*, 35, 47-64.

- Wilber, R. L., & Pitsiladis, Y. P. (2012, Jun). Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 92-102. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.92>
- Zani, A. L. S., Gouveia, M. H., Aquino, M. M., Quevedo, R., Menezes, R. L., Rotimi, C., Lwande, G. O., Ouma, C., Mekonnen, E., & Fagundes, N. J. R. (2022). Genetic differentiation in East African ethnicities and its relationship with endurance running success. *PloS One*, 17(5), e0265625. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265625>

