



Università degli Studi dell'Aquila
Dipartimento di Scienze Cliniche Applicate e
Biotechnologie
Corso di Laurea in Scienze Motorie e Sportive

Tesi di Laurea

Ottogalli Martina

“Adattamenti fisiologici conseguenti
l'allenamento in quota “

Relatore prof. De Angelis Marco

Il candidato Ottogalli Martina

(Matricola: 265926)

Anno Accademico ___2024 / 2025

INDICE

1. INTRODUZIONE

L'Attività di endurance: caratteristiche di base e fattori limitanti.

2. LA QUOTA

Definizione di quota, suddivisione delle varie altitudini e principali adattamenti fisiologici.

3. L'ALLENAMENTO DI ENDURANCE IN CONDIZIONI DI IPOSSIA

Effetti cardiovascolari

Effetti ventilatori

Effetti muscolari

4. PRINCIPALI METODICHE DI ALLENAMENTO

Live High-Train high

Live High-Train low

Live Low-Train high

Programmazione annuale

5. TENDE IPOBARICHE

Utilizzo ed efficacia

6. PROCESSO DI ACCLIMATAZIONE E PRINCIPALI MALATTIE

Corretta acclimatazione

Edema polmonare d'alta quota

Edema cerebrale d'alta quota

Mal di montagna acuto

7. SKYRUNNING

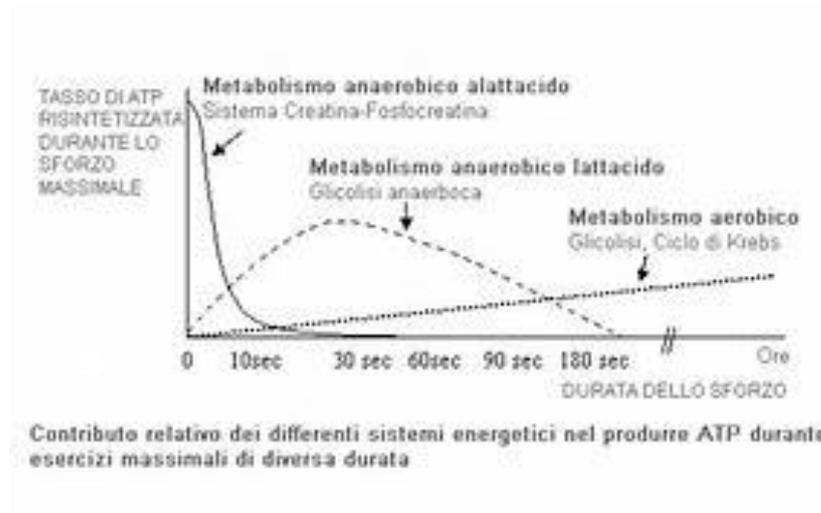
1.INTRODUZIONE

In atletica, con il termine endurance, si vuole indicare la durata del massimo carico sostenibile nel tempo che un'atleta è in grado di mantenere, prima che l'affaticamento interferisca sulla capacità di prestazione e implichi una riduzione del ritmo di allenamento. Si può quindi evincere che la capacità di resistenza di un soggetto è limitata dalla risposta alla fatica.

L'allenamento di resistenza è finalizzato al miglioramento della nostra capacità di sostenere uno sforzo per un tempo prolungato.

Negli sport di endurance, di diversa durata e intensità, numerosi sistemi fisiologici collaborano nella definizione delle prestazioni di resistenza.

In queste discipline, uno dei fattori principali che condiziona la prestazione è l'affaticamento, in quale si manifesta principalmente con una riduzione della lunghezza del passo e della velocità. Questi effetti sono dovuti da: incapacità del corpo a soddisfare le esigenze energetiche; accumulo o esaurimento di metaboliti; riduzione del segnale attraverso i nervi motori.



(in foto sono rappresentate le varie durate dell'esercizio, le intensità e le curve indicano il contributo dei vari metabolismi energetici)

FATTORI DETERMINANTI LA PRESTAZIONE

Sono molti i fattori fisiologici che concorrono a determinare una prestazione di endurance, i tre principali riguardano: il VO₂ max, l'economia del gesto e la soglia anaerobica lattacida.

VO₂ MAX

IL VO₂ max è definito come, il massimo volume di ossigeno consumato al minuto per chilogrammo di peso, ed è utile per definire il livello cardio-respiratorio dell'atleta. Rappresenta la capacità del cuore di generare un'elevata gittata cardiaca, di avere un'elevata quantità di emoglobina, di garantire un flusso sanguigno elevato ai muscoli, di avere una buona capacità di estrazione dell'ossigeno dai muscoli e una buona capacità di ossigenazione da parte dei polmoni.

Viene espresso in ml/kg/min e offre una stima del rapporto tra il peso e la potenza dell'individuo. È un indicatore della massima potenza aerobica di un individuo.

Viene espresso dalla formula:

MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO= FREQUENZA CARDIACA x
GITTATA SISTOLICA x DIFFERENZA ARTERO VENOSA DI OSSIGENO

Tale parametro è fortemente influenzato sia dalla genetica che dall'allenamento e dipende essenzialmente da:

- ventilazione polmonare
- Trasporto periferico di ossigeno da parte dei globuli rossi e dell'emoglobina in essi contenuta
- Densità del letto capillare a livello muscolare
- Composizione in fibre del tessuto muscolare
- Numero, dimensione ed efficienza degli enzimi che catalizzano le reazioni energetiche
- Numero, dimensione ed efficienza dei mitocondri.

Delle tre componenti, il vo₂ max è quella meno allenabile e meno correlata alla prestazione ed è determinato geneticamente.

Table 3a. Fitness level (VO₂max) classification for men [Adapted from 33].

Age (year)		Very poor	Poor		Fair		Good		Excellent		Superior
from	to	under	from	to	from	to	from	to	from	to	over
20	29	36.7	38.0	41.0	41.7	44.8	45.6	48.5	51.1	54.0	55.5
30	39	35.2	36.7	39.5	40.7	43.9	44.1	47.0	48.3	51.7	54.1
40	49	33.8	34.8	37.6	38.4	41.0	42.4	44.9	46.4	49.6	52.5
50	59	30.9	32.0	34.8	35.5	38.1	39.0	41.8	43.3	46.8	49.0
60	69	27.3	28.7	31.6	32.3	34.9	35.6	38.3	39.6	42.7	45.7
70	79	24.6	25.7	28.4	29.4	31.6	32.4	35.2	36.7	39.5	43.9

Table 3b. Fitness level (VO₂max) classification for women [Adapted from 33].

Age (year)		Very poor	Poor		Fair		Good		Excellent		Superior
from	to	under	from	to	from	to	from	to	from	to	over
20	29	30.9	32.3	35.2	36.1	38.5	39.5	42.4	43.9	46.8	49.6
30	39	29.4	30.9	33.8	34.2	36.9	37.7	41.0	42.4	45.3	47.4
40	49	28.2	29.4	32.3	32.8	35.2	35.9	38.6	39.6	43.1	45.3
50	59	25.8	26.8	29.4	29.9	32.3	32.6	35.2	36.7	38.8	41.0
60	69	23.9	24.6	26.6	27.3	29.4	29.7	32.3	32.7	35.9	37.8
70	79	22.2	23.5	25.3	25.9	28.0	28.1	29.8	30.6	32.5	37.2

(Nella tabella vengono illustrati dei valori indicativi di Vo₂max sulla base dell'età e del livello di allenamento dei soggetti.)

ECONOMIA DEL GESTO

L'economia del gesto è una misura dell'energia necessaria per compiere una certa distanza. Essa combina due componenti: quella meccanica e quelle metabolica.

La componente meccanica è importante perché, avere una buona tecnica consente di utilizzare l'energia in modo efficace evitando sprechi inutili per eseguire movimenti inefficienti.

La componente metabolica dipende dal meccanismo che i muscoli usano per produrre l'energia necessaria al compimento dell'esercizio.

SOGLIA ANAEROBICA/LATTACIDA

La soglia anaerobica è un indice usato per valutare il livello massimo di intensità dell'esercizio, che l'organismo può sostenere senza accumulare lattato. Il suo valore indica la massima intensità di esercizio corrispondente ad un livello costante nella concentrazione ematica di lattato. (4millimoli/litro)

La Soglia anaerobica rappresenta anche, il punto di attivazione massiccia del meccanismo anaerobico, cioè il limite di demarcazione che segna il passaggio fra esercizio moderato ed intenso.

Se rapportata con il massimo consumo di ossigeno, nei soggetti non allenati, la soglia anaerobica coincide con il 55% circa del Vo_{2max} . In atleti allenati la soglia può raggiungere l'85% del vo_{2max} .

Oltre questo punto la produzione di anidride carbonica, la ventilazione, ed il livello di acido lattico prodotto crescono rapidamente.

La soglia anaerobica è il parametro fisiologico più sensibile al miglioramento, attraverso l'esercizio cardiovascolare e di endurance.

I metodi per misurare la Soglia anaerobica di uno sportivo sono basati:

- sulla concentrazione del lattato ematico
- sulla misurazione dei parametri ventilatori
- sulla deflessione della curva frequenza cardiaca/intensità di esercizio

TEST DEL LATTAO (MADER)

Il test di Mader è ritenuto il migliore nel determinare la soglia anaerobica e consiste nella misurazione diretta della concentrazione di lattato ematico durante uno sforzo. È un test incrementale che viene svolto in laboratorio.

TEST INCREMENTALE (CONCONI)

Il test di Conconi è uno dei test maggiormente usato, e si basa sulla determinazione della soglia attraverso l'analisi della cinetica della frequenza cardiaca. Il soggetto deve svolgere delle prove graduali ad intensità crescente; quando non è più in grado di sopportare un ulteriore aumento di velocità, viene invitato a fare uno sprint finale massimale e protraendolo fino all'esaurimento consentirà di calcolare la frequenza cardiaca massima.

Osservando i risultati di un test Conconi si nota che per velocità basse c'è linearità, poi ad un certo punto compare una deflessione con un brusco cambio di pendenza. La velocità alla quale cessa la linearità corrisponde alla soglia anaerobica.

FUNCTIONAL THRESHOL POWER (FTP TEST)

Il test FTP permette di stimare il valore di potenza alla soglia funzionale di un soggetto. Cerca di determinare indirettamente l'intensità corrispondente alla soglia anaerobica, ricavandola da una valutazione della prestazione.

L'esecuzione del test prevede un riscaldamento di 20/30 minuti e poi due prove, una della durata di 5 minuti e la seconda di 20 minuti, separate da 10 minuti di recupero. Le prove vanno svolte alla massima intensità, e alla fine del test bisogna prendere la potenza media sviluppata nella sessione da 20 minuti e moltiplicarla per 0,95, così da ottenere un valore indicativo della propria FTP.

CRITICAL POWER

La Critical Power è definita come la massima potenza che un atleta può mantenere in modo stabile senza accumulare significativamente lattato nel sangue, ossia senza entrare in una condizione di affaticamento metabolico progressivo; corrisponde quindi alla potenza più alta, sostenibile prima che incorra

l'OBLA (Onset Blood Lactate Accumulation), cioè l'accumulo di lattato.

È un valore che viene calcolato principalmente in ambito ciclistico, rappresenta una soglia tra sforzi sostenibili e insostenibili, simile al concetto di soglia anaerobica ma più direttamente collegata alla fisiologia muscolare e al metabolismo energetico. La potenza critica ha le caratteristiche di poter essere raggiunta senza affaticamento e di essere la massima potenza che un soggetto può sostenere per ore.

Alla Critical Power si lega la capacità anaerobica residua, ossia l'energia utilizzabile per sforzi superiori alla Critical power.

Con questo parametro si possono individuare gli sforzi al di sotto della Critical Power che possono essere mantenuti per lunghi periodi, e quelli superiori che causano affaticamento rapido e deplezione delle riserve energetiche.

Il test per la Critical Power è una procedura consolidata che fornisce le stime di due importanti parametri che caratterizzano la prestazione lavorativa: la capacità di lavoro anaerobica (AWC) e la potenza critica (CP).

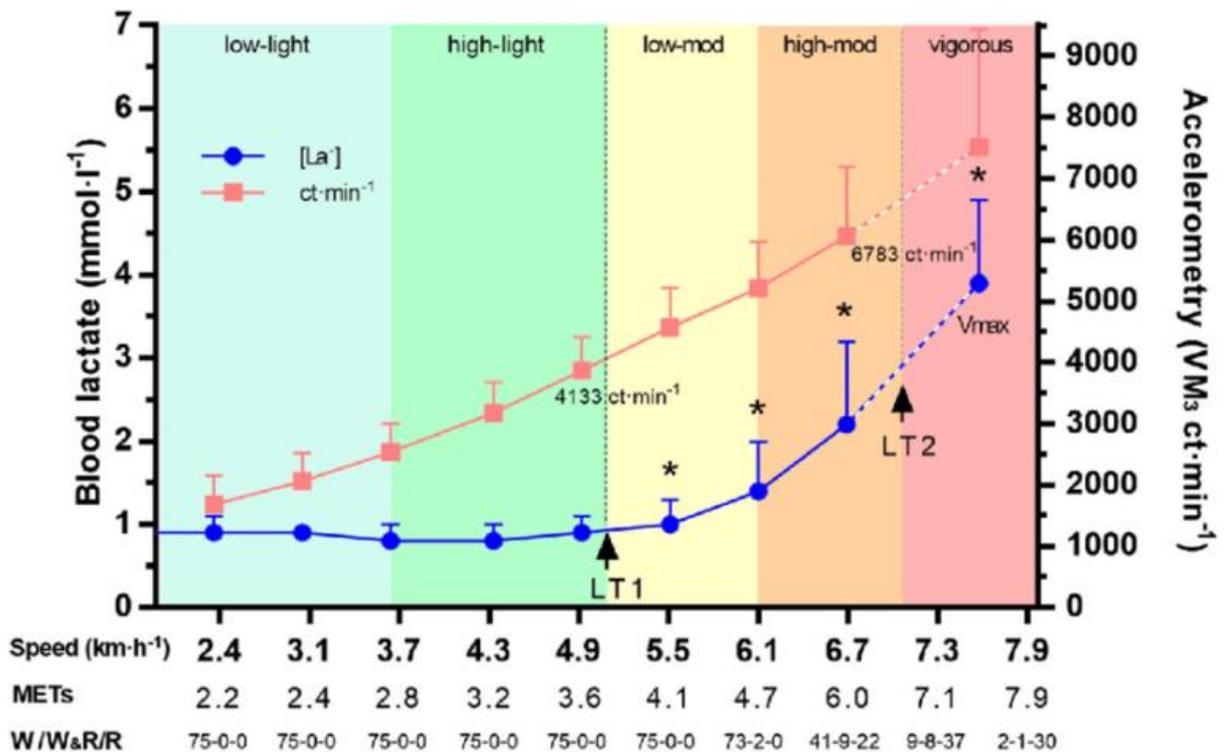
Il metodo di determinazione della potenza critica è stato validato dallo studio "A 3-parameter critical power model"(Ergonomics, 1996) e da allora viene utilizzato il seguente schema, che si basa su test di potenza massimale su diverse durate.

Il test prevede di far compiere al soggetto, 3-5 prove massimali di diversa durata. Al soggetto viene richiesto di sostenere sforzi di potenza massimale fino all'esaurimento; le prove devono essere della durata compresa tra i 2 e i 15 minuti. Si suggerisce di rilevare i valori della potenza per Time Trial uguali a 12, 7 e 3 minuti con un recupero passivo di 60 minuti tra le prove.

Un altro metodo che consente la determinazione della Critical Power è quello di svolgere 3 prove a percentuali diverse di Vo2 max; le prove vengono effettuate su strada o in pista.

Per una corretta valutazione è necessario considerare il tempo in cui l'atleta riesce a mantenersi costantemente a quella determinata potenza. I tempi di esaurimento vengono poi inseriti nel grafico che indica la relazione tra potenza e tempo e l'asintoto all'iperbole che ne deriva rappresenta la potenza critica del soggetto.

Il valore di potenza critica ottenuto dalla relazione lavoro/tempo di esaurimento stima la potenza sostenibile per un lungo periodo e rappresenta uno strumento di valutazione, sia delle caratteristiche individuali che di forma dell'atleta. Inoltre, la relazione potenza- lavoro/tempo è influenzata dal tipo di allenamento effettuato pertanto rappresenta un importante feedback per allenatore ed atleta, perché consente di individuare carenze o perdite di prestazione; stabilire se il miglioramento di una prestazione, su una data distanza, è stato determinato da incremento di AWC o di CP; consente di predire la prestazione se lo sforzo è tendenzialmente costante.



(Nella figura viene illustrata la concentrazione ematica di lattato in relazione all'intensità dell'esercizio)

2. CONCETTO DI QUOTA E SUDDIVISIONE FISIOLOGICA DELLE VARIE ALTITUDINI

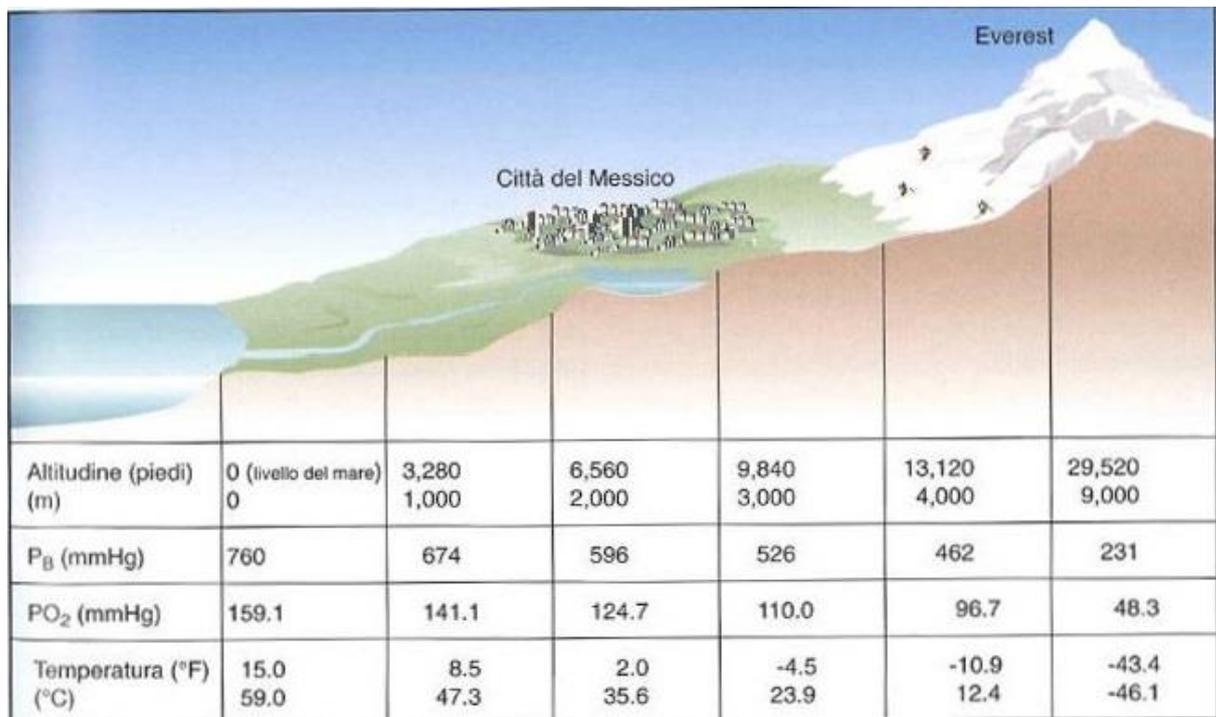
Al giorno d'oggi, l'ambiente di alta montagna risulta molto più accessibile e frequentato rispetto a qualche decennio fa. Di conseguenza, la maggior affluenza le persone e la maggior accessibilità, correlata ad una minor difficoltà nel raggiungimento di alte quote, hanno spinto molti studiosi ad indirizzare le loro ricerche verso gli effetti dell'attività fisica e la permanenza in altura. Focalizzandosi sugli adattamenti fisiologici che essa induce e in particolar modo sui benefici che apporta a livello di performance negli atleti.

Con il passare del tempo sempre più sport, sia di squadra che individuali, hanno inserito un periodo di preparazione atletica svolto in ambienti ipossici, nella periodizzazione dell'allenamento, al fine di sfruttare tutti gli adattamenti fisiologici allo scopo di migliorare la performance.

Un ambiente viene definito di medio-alta quota se rientra in determinati parametri e in un determinato range di altitudine sul livello del mare. Nel corso degli anni sono state formulate varie classificazioni, qui di seguito quella secondo Bartsch:

- LIVELLO DEL MARE, 0-500 metri s.l.m.
- BASSA QUOTA, 500-2000 metri s.l.m.
- MEDIA QUOTA, 2000-3000 metri s.l.m.
- ALTA QUOTA, 3000-5500 metri s.l.m.
- QUOTA ESTREMA, >5500 metri s.l.m.

Una seconda suddivisione può essere attuata tenendo in considerazione gli effetti che la quota esercita sull'organismo. Secondo questi parametri si individuano: una prima zona detta “zona indifferente” che va da 0m s.l.m. a 1500/2000m s.l.m.; definita così perché in assenza di patologie specifiche, dei soggetti sani non avvertono eccessivamente la mancanza di ossigeno rispetto a quote inferiori. La seconda zona, “alta quota” riguarda le altitudini comprese tra 3000 e 5000 m s.l.m., queste quote sono tollerate da soggetti ben allenati e sottoposti ad un adeguato processo di acclimatazione. Dai 5000m s.l.m. in poi si parla di “altitudine estrema” che implica delle difficoltà di tolleranza e l'esposizione a tale altitudine deve essere preceduta da un adeguato periodo di acclimatazione; particolarmente, oltre i 7000 m s.l.m. si entra nella “zona critica” che è una quota accessibile a una frazione ristretta di atleti e solamente per brevi periodi.

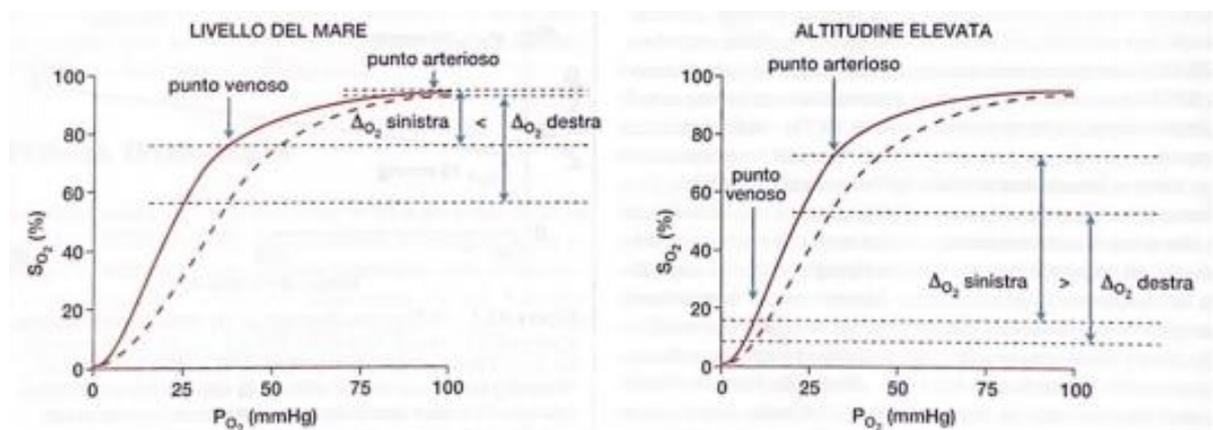


(in foto sono raffigurate le varie altitudini di riferimento e i cambiamenti climatici connessi)

Con il progressivo aumentare della quota, si verifica una diminuzione della le di ossigeno, accompagnata da una riduzione della pressione barometrica. Le principali risposte a queste modificazioni sono: l'iperventilazione, causata dalla stimolazione ipossica dei chemocettori periferici, perché in seguito alla ridotta parziale di ossigeno inspirato si ha una ridotta pressione alveolare di ossigeno e una minore disponibilità di ossigeno a livello tissutale. Un'altra risposta è la policitemia, cioè

un aumento della concentrazione dei globuli rossi. Il risultante aumento di concentrazione dell'emoglobina, e quindi della capacità di trasporto di ossigeno fa sì che, sebbene siano diminuite la pressione di ossigeno arteriosa e la saturazione di ossigeno, il contenuto di ossigeno del sangue arterioso possa essere normale o addirittura superiore allo stato basale. Il principale stimolo all'aumento della produzione di globuli rossi è l'ipossiemia, che innesca il rilascio da parte del rene di eritropoietina, la quale a sua volta stimola un aumento di attività del midollo osseo, sede di eritropoiesi.

Esistono poi altri cambiamenti fisiologici ad alta quota: ad altezze moderate c'è uno spostamento a destra della curva di dissociazione dell'O₂, causata dall'aumento della concentrazione di 2,3-difosfoglicerato, sviluppato principalmente a causa dell'alcalosi respiratoria e che, come conseguenza, determina una miglior cessione dell'ossigeno a livello periferico. Ad altitudini ulteriormente maggiori l'effetto dell'alcalizzazione supera quello del 2,3-difosfoglicerato e la curva di dissociazione si sposta a sinistra, aumentando l'affinità per l'ossigeno nei capillari polmonari. Anche il numero di capillari subisce variazioni, in particolare il numero per unità di volume aumenta nei tessuti periferici e le cellule subiscono variazioni degli enzimi ossidativi. Un'altra caratteristica fisiologica che varia all'aumentare dell'altitudine è la massima capacità respiratoria, che aumenta in quanto l'aria risulta essere meno densa, favorendo una ventilazione estremamente elevata.



(Nella foto si può osservare il cambiamento nella curva di dissociazione dell'emoglobina in relazione all'aumento della quota. Ad alte quote la curva si sposta a sinistra, in quanto si ha una maggiore affinità per l'ossigeno a livello dei capillari polmonari.)

Facilmente, l'alta quota può indurre delle complicanze sia acute che croniche ai soggetti che non riescono ad acclimatarsi rapidamente, non rispettando i corretti tempi di acclimatazione raggiungendo così quote elevate in tempi relativamente brevi, senza acclimatarsi seguendo step intermedi; tale complicanze sono determinate dal fenomeno fisico tale per cui la pressione barometrica decresce in maniera quasi esponenziale con l'aumentare dell'altitudine; inoltre, un'altra grandezza fisica che decresce all'aumentare della quota e, può indurre ulteriori risposte negative all'acclimatazione è la diminuzione della temperatura dell'aria.

In relazione alla quota, si può notare che: fino a 500mt le variabili atmosferiche non subiscono sostanziali modifiche e quindi non è richiesta nessuna compensazione fisiologica.

Entro i 2000mt le variabili atmosferiche influiscono maggiormente e l'organismo inizia ad attuare meccanismi di compensazione, ma sono lievi e non creano disagi alle persone.

Tra i 2000 e i 3000mt le condizioni si fanno più ostiche, e le compensazioni da parte dell'organismo sono più marcate. Si possono riscontrare sintomi legati al “mal di montagna”

Tra i 3000 e 5500mt, i soggetti senza acclimatamento, possono riscontrare il male acuto di montagna.

Queste variabili inducono il processo di acclimatazione, che riguarda una serie di meccanismi compensatori messi in atto dall'organismo allo scopo di adattarsi alla conseguente ipossia tissutale.

Questi meccanismi compensatori, in relazione alla velocità di instaurazione, posso essere suddivisi in “aggiustamenti”, processi più rapidi, che si verificano in ore/giorni, in risposta acuta all'ipossia, e in “adattamenti”, processi più lenti, che si ottengono in settimane/mesi e hanno il fine di realizzare le condizioni fisiche necessarie per tollerare al meglio l'ambiente ipossico/ipobarico.

AGGIUSTAMENTI

La rapida esposizione a quote superiori a 2000 metri induce l'organismo rapide modificazioni funzionali, atte allo scopo di fronteggiare l'ipossia tissutale.

Si assiste a: aumento della ventilazione, quindi ad un aumento della frequenza respiratoria e della profondità del respiro; vasocostrizione polmonare ipossica, aumento della gittata cardiaca conseguente all'aumento della frequenza cardiaca.

La pressione arteriosa tende ad aumentare in seguito all'aumentato stimolo adrenergico indotto dalla quota.

Questi aggiustamenti, caratterizzati soprattutto da modifiche funzionali permettono di ridurre in tempi brevi gli effetti negativi dell'ipossia, quali: ridotta saturazione dell'emoglobina, ipossia tissutale e riduzione della performance. Ma non sono sufficienti a fornire ossigeno in proporzioni adeguate alla permanenza in quota ed all'attività sportiva svolta in quota.

ADATTAMENTI

Gli adattamenti, in confronto agli aggiustamenti, richiedono tempi maggiori per la realizzazione e riguardano sia modifiche strutturali che funzionali. Sono conseguenti alla permanenza in ambiente ipossico, e sono finalizzati a compensare la ridotta pressione parziale di ossigeno tissutale.

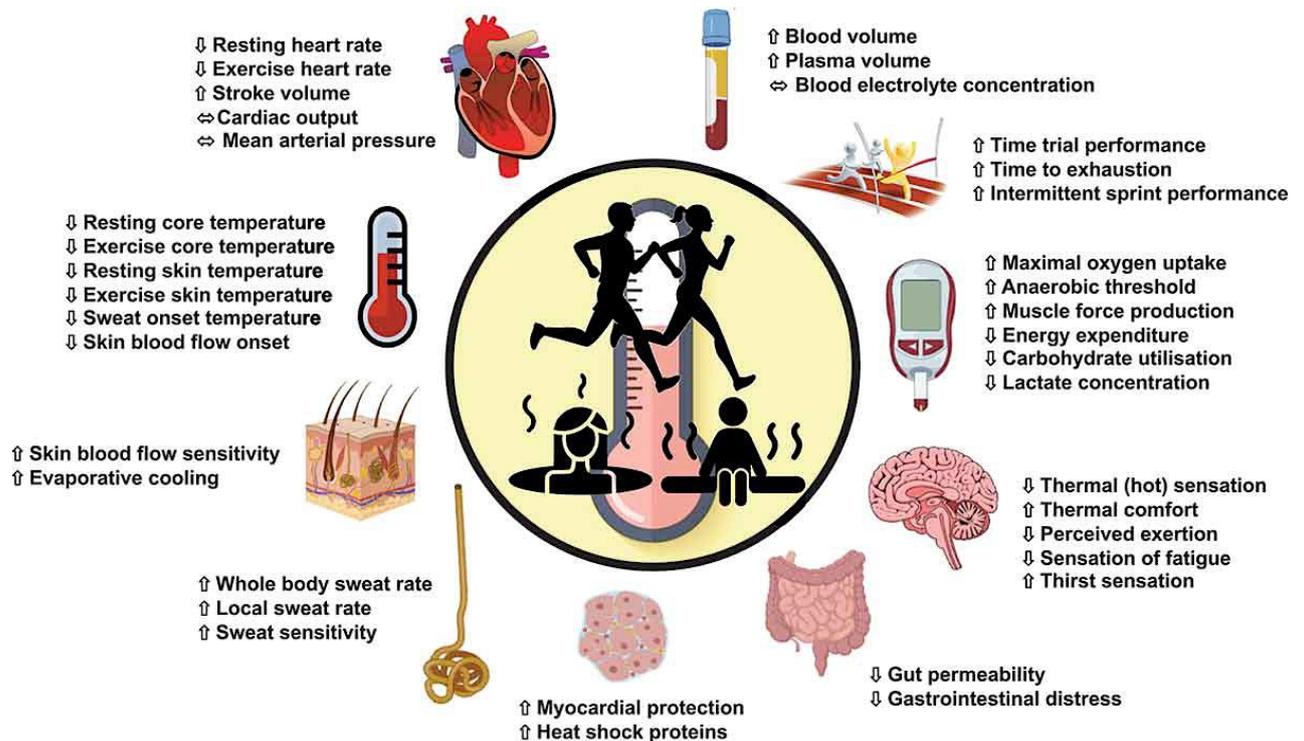
L'iperventilazione perdurando nel tempo mantiene la condizione di ipocapnia per maggiore eliminazione di CO_2 . L'incremento della ventilazione vien compensato dai reni che eliminano bicarbonato per compensare l'alcalosi respiratoria.

L'ipossia tissutale, conseguente alla ridotta pressione parziale di ossigeno, stimola la produzione di globuli rossi, attraverso un aumento del rilascio di eritropoietina da parte del rene.

Altri adattamenti indotti dall'ipossia sono: l'aumento della capillarizzazione nei muscoli scheletrici, modificazioni a livello mitocondriale e degli enzimi dei processi ossidativi, maggior rilascio di ossigeno a livello tissutale.

Riassumendo possiamo affermare che i principali problemi che l'uomo incontra durante un soggiorno in alta quota, sono dovuti alla ridotta pressione parziale di ossigeno, conseguente alla diminuzione della pressione barometrica (diminuisce all'aumentare dell'altitudine).

Altri fattori importanti da tenere in considerazione, quando si pratica attività ad alta quota, e che influiscono nettamente sulla prestazione, sono: la diminuzione di temperatura, i venti, la secchezza dell'aria, l'aumento dell'esposizione solare, la difficoltà a seguire un regime dietetico adeguato.



(in foto, un'illustrazione in cui vengono descritti le modificazioni fisiologiche n seguito all'esposizione prolungata all'alta quota)

3.ALLENAMENTO DI ENDURANCE IN CONDIZIONI DI IPOSSIA

Al giorno d'oggi, l'allenamento in altura è diventato una parte integrante della programmazione atletica, specialmente per gli atleti di endurance che si cimentano in discipline come corsa o ciclismo, sia su brevi che su lunghe distanze.

L'allenamento in quota è diventato popolare a partire dai Giochi Olimpici del 1968, quando gli effetti dell'altitudine sulle prestazioni di resistenza sono diventati evidenti, gli atleti hanno iniziato ad inserire dei periodi di training ad altitudine moderata (circa 2000-3000 m).

Questa pratica è risultata efficace diventato popolare per migliorare le prestazioni in gara sia in quota che a livello del mare. Quando gli atleti di resistenza sono esposti in modo acuto a un'altitudine moderata, si verificano una serie di risposte fisiologiche; ad esempio, si assiste a un aumento della ventilazione, un aumento della frequenza cardiaca, a una diminuzione del volume della corsa, una riduzione del volume plasmatico e una riduzione della potenza aerobica massima.

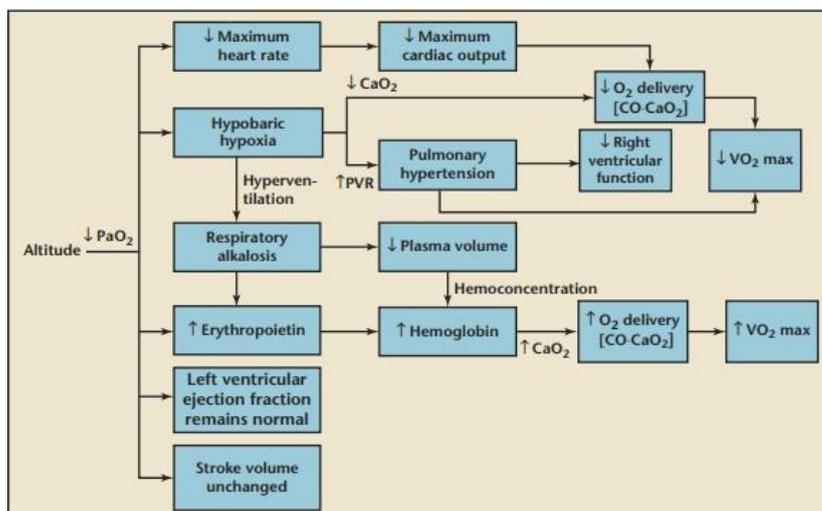
Con il progressivo aumentare della quota si osserva una conseguente riduzione della pressione parziale di ossigeno nel sangue arterioso, fatto direttamente correlato alla progressiva riduzione della pressione barometrica.

I cambiamenti atmosferici che si verificano con l'aumentare della quota riducono la quantità di ossigeno che arriva ai tessuti dopo ogni atto inspiratorio, questo determina uno stato di ipossia.

L'ipossia è una condizione patologica causata dalla mancanza di ossigeno in tutto l'organismo o in parte di esso. In montagna l'ipossia è provocata dalla diminuita pressione parziale dell'ossigeno nel sangue come risultato di una minor pressione barometrica (e di conseguenza minor pressione parziale di ossigeno), ciò dipende dal fatto che la pressione dell'ossigeno regola quanto di questo si può legare all'emoglobina.

Il corpo, allo scopo di garantire un apporto di ossigeno adeguato alle necessità fisiologiche, innesca dei fenomeni di adattamento durante il periodo di acclimatazione. I principali fenomeni di adattamento che il nostro corpo attua riguardano l'aumento della frequenza cardiaca, l'aumento della frequenza respiratoria, l'aumento di emopoiesi, la perdita di massa grassa e muscolare ed infine il compenso renale.

Il fattore principale che determina gli adattamenti cardiovascolari, respiratori, muscolari ed ematologici è il fattore di trascrizione e di regolazione principale dell'omeostasi dell'emoglobina: l'hypoxia-inducibil factor (HIF). Questo fattore, in condizioni di ipossia, viene degradato più lentamente e ciò consente di avere una maggiore ossigenazione dei tessuti, ciò limita il danno muscolare causato dall'allenamento in condizioni di ipossia.



(In figura, uno schema riguardo gli effetti dell'aumento dell'altitudine sulla fisiologia cardiopolmonare e sulla prestazione massima; considerando: contenuto di ossigeno arterioso; gittata cardiaca; pressione parziale dell'ossigeno nel sangue arterioso; resistenza vascolare polmonare; consumo massimo di ossigeno.)

EFFETTI CARDIOVASCOLARI

I principali adattamenti effettivi riscontrati a livello cardiovascolare riguardano vari fattori. Si ha un aumento della gittata cardiaca, necessario al mantenimento della percentuale di ossigeno arterioso.

Un aumento della quantità di emoglobina, dato inizialmente dall'emoconcentrazione e in seguito dall'aumento della quantità di eritropoietina. La maggior quantità di emoglobina ha lo scopo di incrementare la quantità di ossigeno arterioso; ciò facilita il trasporto di ossigeno ai muscoli attivi e aumenta il volume massimo di ossigeno utilizzabile.

L'incremento della quantità di eritropoietina, si sostiene, sia dovuto all'iperventilazione causata dall'ipossia e al grado di alcalosi respiratoria.

Si osserva anche una diminuzione del volume plasmatico a causa della perdita di acqua dovuta all'aumento della ventilazione, alla sudorazione, all'emissione di urina e alla diminuzione dell'assunzione di cibo per via orale a causa dell'adipsia indotta dall'ipossia, l'assenza di sete nonostante la disidratazione.

Sono stati esaminati gli elettrocardiogrammi sia di atleti che hanno eseguito allenamenti a livello del mare, sia di atleti che hanno effettuato un periodo di training ad alta quota.

I principali riscontri sono stati: aumento dell'ampiezza dell'onda P nelle derivazioni inferiori, il ritardo di conduzione del ventricolo destro e la deviazione dell'asse destro.

Questi cambiamenti suggeriscono la presenza di uno sforzo maggiore del ventricolo destro e di un allargamento dell'atrio destro e possono essere dovuti all'ipertensione polmonare che si riscontra nei soggetti che si trovano ad alta quota. Risultati simili sono stati riprodotti quando l'aumento dell'altitudine viene simulato in camere ipobariche. Le alterazioni dell'ECG tornano ai valori normali quando gli atleti tornano al livello del mare.

I dati sulle variazioni dell'intervallo QT sono contrastanti: molti fattori influenzano questo parametro, tra cui il sistema nervoso autonomo, l'ipossia, la pressione ipo-

barometrica, il freddo, le differenze individuali nell'acclimatazione all'alta quota, l'eritrocitosi, le alterazioni elettrolitiche e l'iperventilazione.

EFFETTI VENTILATORI

A livello respiratorio, durante il periodo di acclimatazione, in risposta all'ipossia, si può assistere ad un aumento della ventilazione; ciò è necessario al mantenimento di una quantità di ossigeno inalterata nel sangue. Ad alte quote per mantenere una quantità di ossigeno circolante costante, è necessario introdurre un maggiore quantitativo di aria; perché l'ossigeno si lega più difficilmente al sangue arterioso. L'incremento ventilatorio favorisce il recupero delle pressioni parziali di ossigeno alveolare e arterioso, inizialmente ridotte, della saturazione arteriosa di ossigeno, l'abbassamento delle pressioni parziali alveolari e arteriose dell'anidride carbonica. L'iperventilazione ha come conseguenza l'alcalosi respiratoria, che viene compensata in seguito da una maggior escrezione renale di bicarbonato.

Con l'esposizione cronica all'alta quota, la conseguente acclimatazione e l'aumento della quantità di emoglobina che lega l'ossigeno, si assiste a una riduzione della ventilazione al minuto, rispetto ai valori che si hanno in seguito all'immediato cambiamento di quota. Nonostante questa riduzione la ventilazione rimane aumentata rispetto a quella riscontrata a livello del mare.

Possiamo concludere che a livello ventilatorio, l'ipossia ad alta quota altera la funzione respiratoria e la saturazione di ossigeno dell'emoglobina del sangue arterioso. Inoltre, la rarefazione dell'aria e la riduzione della temperatura, favorendo la broncocostrizione ipossica, potrebbero influenzare la respirazione.

EFFETTI MUSCOLARI

L'esercizio di endurance in alta quota implica una riduzione della quantità di ossigeno intramuscolare, e ciò induce a modificazioni nella trascrizione genica, nell'economia del metabolismo muscolare e nella capacità tampone del muscolo.

L'allenamento di resistenza in alta quota induce un aumento del mRNA che codifica per l'amminoacido GLUT-4. Questo effetto porta ad un incremento della capacità del muscolo di utilizzare glucosio durante l'esercizio.

Un altro effetto a livello muscolare riguarda l'angiogenesi, cioè l'aumento del numero dei capillari.

La formazione di nuovi capillari si ha in seguito all'aumento di angiogenina, del fattore di crescita muscolare e di interleuchina-8.

Si verifica inoltre un aumento del numero dei mitocondri, adattamento molto importante in quanto ha come conseguenze, un miglioramento a livello della

capacità ossidativa; una migliore espressione delle proteine muscolari nelle fibre a contrazione lenta(I); un miglioramento dell'efficienza del processo di accoppiamento eccitazione- contrazione; un miglioramento del metabolismo muscolare che ottiene un'ottimizzazione.

Si verifica inoltre un aumento della capacità tampone del muscolo che va a tamponare l'acidosi causata dall'ipossia attraverso un aumento dei trasportatori di mono-carbossilati.

4.PROTOCOLLI PRINCIPALI DI ALLENAMENTO IN QUOTA

LIVE LOW-TRAINING HIGH

Questa tipologia di allenamento non è di recente scoperta, fu studiata già nel 1940 da ricercatori russi al fine di indurre adattamenti fisiologici nei piloti per consentire il volo ad altitudini superiori ai 7000m.

È un modello divenuto molto popolare perché consente agli atleti di allenarsi in quota senza modificare particolarmente la loro vita quotidiana, e gli consente di continuare a vivere nel loro ambiente domestico.

La tipologia di allenamento live low-training high si basa su temporanee esposizioni a condizioni di ipossia durante una seduta di allenamento o di recupero, in modo da simulare la quota.

Le modalità possono essere passive o attive.

I protocolli passivi sono 2: esposizione ipossica intermittente a riposo e il pre-condizionamento ischemico. Le metodologie attive riguardano il condizionamento di ipossia locale e sistemica. In cui per ipossia locale si intende l'esercizio limitato al flusso sanguigno, e per sistemica l'allenamento in condizioni di ipossia per un periodo continuato a bassa intensità.

MODALITÀ PASSIVE

Le modalità passive riguardano l'esposizione degli individui a condizioni di ipossia locale e sistemica mentre sono seduti a riposo.

PRECONDIZIONAMENTO ISCHEMICO

Il pre-condizionamento ischemico è una modalità passiva che simula l'ipossia locale. È una procedura che provoca ischemia tissutale mediante la compressione circonferenziale dell'arto o degli arti, seguita da una riperfusione ciclica e ripetuta.

I protocolli più comuni comprendono tre o quattro cicli di 5 minuti di occlusione circolatoria e riperfusione, di solito completati 30-45 minuti prima di un determinato esercizio.

I benefici dell'IPC includono un successivo aumento dell'1-5% delle prestazioni nelle prove a tempo e della capacità aerobica e un miglioramento delle prestazioni in altitudine.

Inoltre, piuttosto che un intervento una tantum somministrato in contesti acuti, un'altra applicazione innovativa è quella di utilizzarlo cronicamente per evocare adattamenti vascolari come una maggiore dilatazione flusso-mediata dell'arteria brachiale; e molecolari (come un maggior quantitativo di geni coinvolti nel metabolismo ossidativo mitocondriale).

ESPOSIZIONE IPOSSICA INTERMITTENTE

L'esposizione ipossica intermittente induce ipossia a livello sistemico e si riferisce all'uso di periodi "brevis", della durata di 3-6 min di esposizione a livelli relativamente severi di ipossia ($FiO_2 = 0,15-0,09$; ~2.800-5.500 m di altitudine simulata) intervallati da episodi normossici di durata simile. Sono state introdotte anche applicazioni intermittenti di esposizioni ipossiche "croniche" della durata da 30 minuti a 5 ore per i protocolli di pre-acclimatazione delle spedizioni ad alta quota, con lo scopo principale di migliorare il benessere e cioè ridurre il tempo di acclimatazione e le prestazioni in quota.

MODALITÀ ATTIVE

Le modalità attive a livello sistemico sono: allenamento continuato, allenamento a intervalli, sprint, sprint ripetuti, allenamento di resistenza ad alta quota. Tra le modalità attive rientra anche l'ipoventilazione volontaria con un basso volume polmonare.

La modalità attiva a livello locale riguarda la riduzione del flusso ematico.

Queste tecniche apportano miglioramenti direttamente correlati al tipo e intensità di esercizio considerati.

RIDUZIONE DEL FLUSSO EMATICO

Questa metodica richiede l'applicazione continua o ciclica di un bracciale gonfiabile o di fasce elastiche intorno a un arto. La limitazione dell'apporto e del ritorno di

sangue dal muscolo in contrazione produce uno stress ipossico locale. In atleti ben allenati, questa pratica può indurre un aumento dell'ipertrofia e della forza durante l'allenamento dinamico a basso carico, mentre potrebbe non provocare modifiche degne di nota in circostanze normali

L'allenamento con riduzione del flusso ematico migliora le prestazioni e la regolazione del K⁺ durante l'esercizio fisico intenso, migliorando a sua volta il flusso sanguigno ai muscoli in esercizio e la funzione antiossidante dei muscoli.

ALLENAMENTO IPOSSICO CONTINUO

L'allenamento ipossico continuo corrisponde a sessioni continue di allenamento sub-massimale in ipossia, di solito allo scopo di migliorare le prestazioni di resistenza.

Si riferisce all'utilizzo di esposizioni ipossiche moderate (in genere 2.500-3.500 m, anche se possono essere utilizzate anche elevazioni più severe fino a 5.500 m) durante l'esercizio ad alta intensità, intervallate da recuperi di durata simile o inferiore, e generalmente eseguite per migliorare le attività ad alta intensità.

ALLENAMENTO DI RESISTENZA IN CONDIZIONI DI IPOSSIA

Questa metodica prevede un allenamento di resistenza in ipossia per aumentare la forza muscolare e la produzione di potenza. A causa di metodologie molto diverse per l'implementazione delle capacità (ad esempio, programmi di allenamento, gravità dell'ipossia e back ground dei partecipanti), i miglioramenti non sono sempre maggiori rispetto all'allenamento di resistenza in normossia.

Le caratteristiche comuni dell'efficacia dell'allenamento a intervalli e dell'allenamento di resistenza in ipossia sono i periodi di recupero relativamente brevi tra le serie, al fine di fornire un potente stimolo metabolico per potenziare le risposte anaboliche. Tuttavia, se le intensità assolute di esercizio non sono accuratamente abbinate tra condizioni ipossiche e normossiche, resta difficile determinare la vera efficacia degli interventi "living low-training high"(cioè le intensità di esercizio sub-massimali).

ALLENAMENTO A SPRINT RIPETUTI IN IPOSSIA

L'allenamento a sprint ripetuti in ipossia è un metodo di allenamento recente che è stato introdotto in considerazione di alcune limitazioni intrinseche dell'allenamento a intervalli (ad esempio, uno stimolo di allenamento inferiore indotto dall'ipossia).

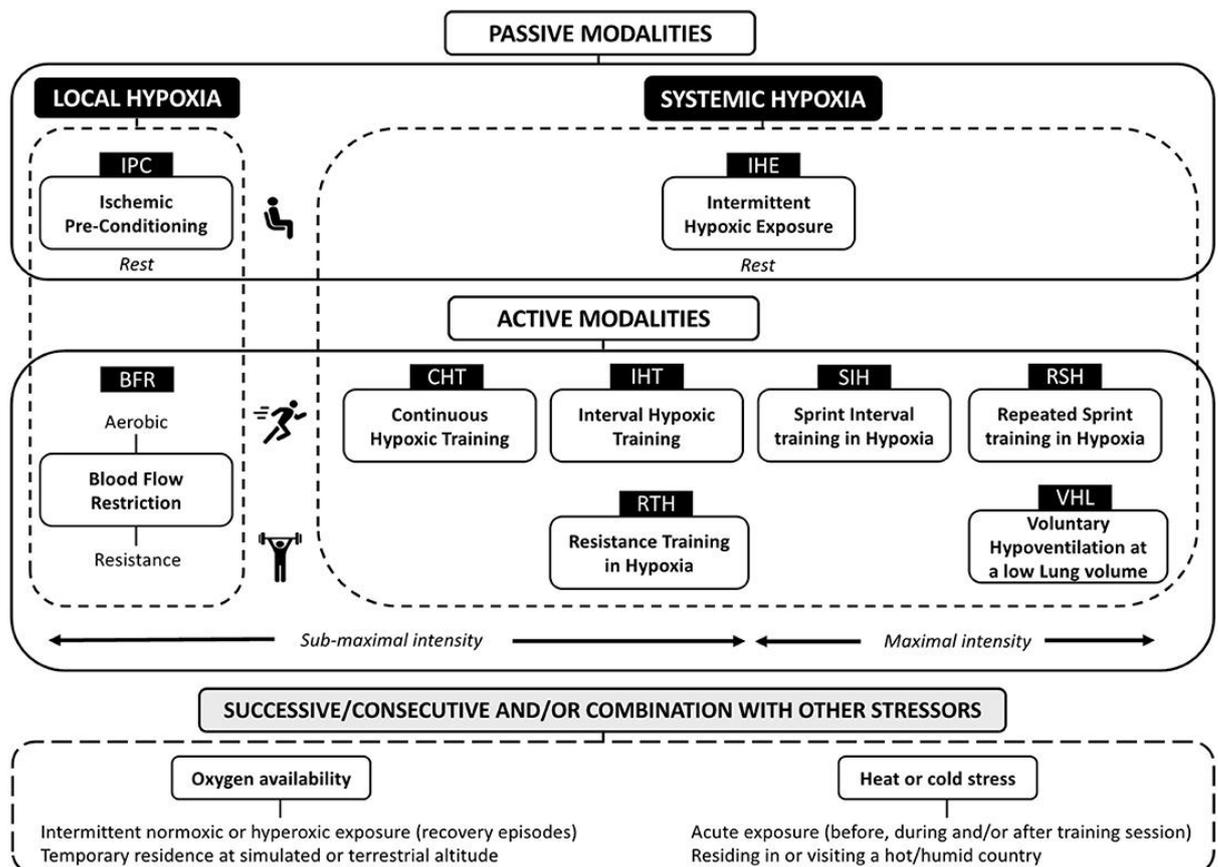
Consiste nella ripetizione di sprint brevi (<30 s) “all-out” con recuperi incompleti (<60 s) in ipossia, includendo anche rapporti esercizio/riposo tipicamente più bassi rispetto ai test di abilità di sprint ripetuti/agli scenari di gara al fine di aumentare lo sforzo metabolico.

L'opinione generale è che l'allenamento a sprint ripetuti in ipossia porti a una capacità di sprint ripetuto superiore, cioè tempi medi di sprint più rapidi o potenze più elevate spesso accompagnate da una migliore resistenza alla fatica, in condizioni di normossia.

ALLENAMENTO A SPRINT INTERVALLATI

L'allenamento a sprint intervallati prevede in genere sforzi “all-out” di 20-30 secondi intervallati da 3-5 minuti di recupero passivo o attivo a bassa intensità. Questo allenamento viene spesso presentato come una strategia efficiente in termini di tempo per aumentare la gittata cardiaca, l'assorbimento massimo di O₂ e il contenuto mitocondriale del muscolo scheletrico in misura simile o addirittura maggiore rispetto all'allenamento di resistenza tradizionale ad alto volume.

La riduzione dell'apporto di O₂ ai muscoli con l'esposizione all'ipossia aumenta lo stress sul flusso glicolitico, con conseguente up-regulation di questa via energetica. Di conseguenza, l'allenamento a sprint intervallati è uno stimolo all'esercizio utile per massimizzare le prestazioni sia a livello del mare che in altitudine.



LIVE HIGH-TRAINING HIGH

La metodologia LHTH prevede che gli atleti si allenino e soggiornino per un periodo di tempo variabile, da 3 a 6 settimane a quote comprese tra i 1500m.s.l e 3000 m.s.l.m..

È la prima metodologia che è stata inserita nella programmazione dell'allenamento e ha come effetto principale un aumento della massima potenza aerobica. Questo adattamento si verifica in seguito alla diminuzione dell'intake di ossigeno dato dalla diversa quota.

La riduzione dell'ossigeno durante la performance tende a stimolare la produzione autogena di eritropoietina da parte del rene. In conseguenza di ciò si assiste ad un aumento della concentrazione di emoglobina e un aumento del volume dei globuli rossi stimolati appunto della maggiore quantità di eritropoietina prodotta rispetto alla normale fisiologia; e ad un incremento nella concentrazione di 2,3 bis-fosfoglicerato.

Queste modificazioni condurranno ad uno spostamento verso destra della curva di dissociazione dell'emoglobina.

In conclusione, il metodo living high-training high avrà come effetto il miglioramento della capacità di cessione dell'ossigeno ai muscoli e l'aumento del massimo consumo di ossigeno.

Inoltre, a livello non ematico si registra una diminuzione della concentrazione di lattato ematico e un aumento della capacità tampone.

Il miglioramento nella capacità di tamponamento si ha in seguito all'aumento di alcuni trasportatori di lattato e degli enzimi carbonato deidrogenasi.

Un effetto meno rilevante di questa metodica è l'aumento dell'attività del 3-idrossiacil-Coa deidrogenasi, generando un aumento nella mobilizzazione degli acidi grassi, così da consentire un risparmio di glicogeno.

Il protocollo LHTH ha anche delle conseguenze negative in quanto può portare ad un aumento della viscosità del sangue che provoca una diminuzione della frequenza cardiaca massima sotto sforzo, e dell'attività glicolitica e potrebbe condurre anche ad una diminuzione dell'attività dei recettori adrenergici e della sintesi proteica.

Nel caso il protocollo poi non venga strutturato adeguatamente, può indurre nell'atleta un eccessivo stato di overreaching, che sfociando in overtraining, obbligherebbe l'atleta a dover ridurre gli stimoli allenanti.

LIVE HIGH – TRAINING LOW

La metodica LHTL è stata introdotta per ovviare l'eccessivo stress metabolico, causato dalla tipologia LHTH, attorno ai primi anni Novanta.

Questo protocollo prevede che gli atleti vivano a quote di media entità (2000-3000 m.s.l.m. nelle fasi di recupero e vita quotidiana e poi la discesa a circa 1500m.s.l. nelle fasi di allenamento.

Lo scopo di questa metodologia è quello di esporre gli atleti ad ambienti ipossici, così da trarre i benefici che questa condizione esercita sulla performance; ma allo stesso tempo consentire il mantenimento dell'intensità e del volume di allenamento.

È un'ottima strategia per indurre gli adattamenti ematologici, neuromuscolari ed endogeni atti al miglioramento della performance.

Per ovviare gli spostamenti e consentire un'applicazione più semplice di questa tecnica è previsto che, l'atleta possa rimanere a quote elevate anche durante i periodi di allenamento sfruttando l'inalazione di ossigeno per simulare le quote più basse.

PROGRAMMAZIONE

L'inserimento di periodo allenamento in quota nella pianificazione annuale è un tema molto complesso che richiede particolare attenzione. È fondamentale prevedere e pianificare in modo adeguato tutte le varie fasi dell'allenamento stagionale in previsione degli appuntamenti principali, soprattutto se si vuole inserire un periodo di training in altura, in quanto richiede tempi di recupero e adattamento ben precisi.

Viene consigliato di svolgere il 15/20% del totale del volume allenante in condizioni di ipossia; è stato dimostrato che l'effetto del training in altura e gli adattamenti fisiologici e neuromuscolari sono proporzionali al periodo trascorso in alta quota.

Il periodo ottimale individuato è di circa tre settimane continue di allenamento in quota, ma è possibile ottenere gli stessi effetti svolgendo periodi di due settimane in altura intervallati da settimane di allenamento a livello del mare.

Svolgere periodi più brevi e intervallati risulta più sostenibile e efficace in quanto si possono ottenere comunque tutti gli adattamenti fisiologici, rendere massimale l'eritropoiesi e mantenere la qualità degli allenamenti, che in periodi di esposizione più prolungati va a decrescere.

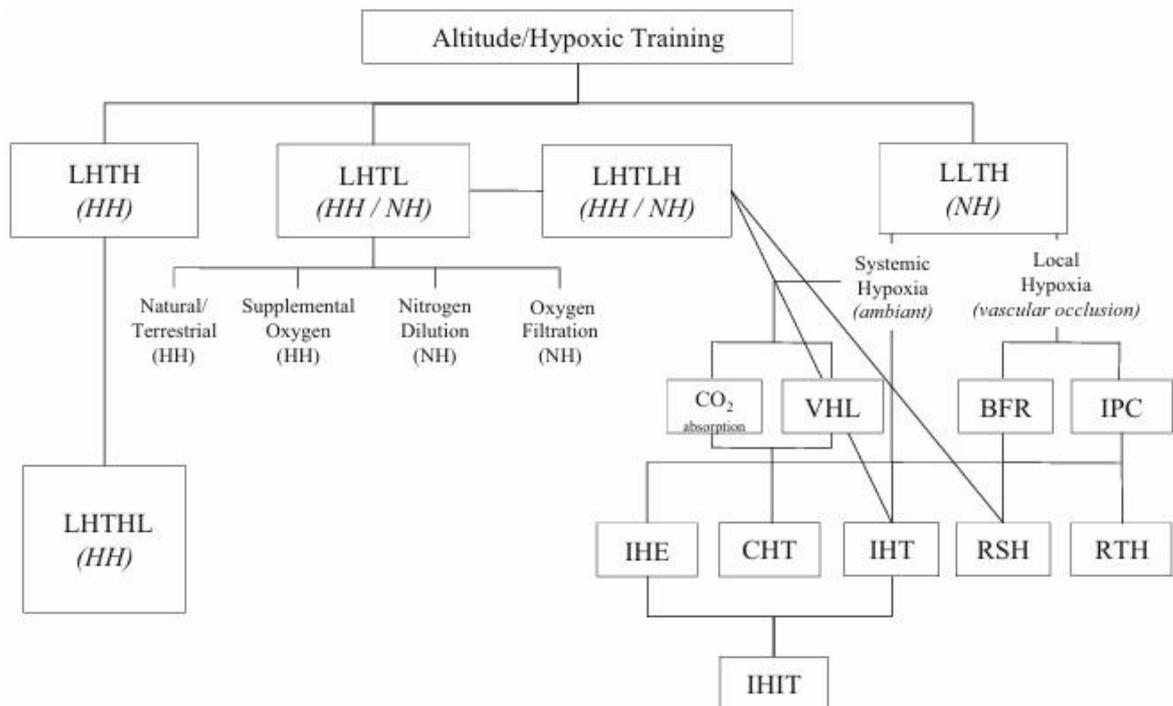
Per consentire agli atleti un recupero adeguato nel periodo pre-competizione e massimizzare l'effetto allenante, un'altra metodica, prevede lo svolgimento di allenamenti con volumi e qualità elevati nel periodo lontano dalle competizioni e invece nel periodo che precede gli appuntamenti agonistici attuare una riduzione del carico, eseguendo allenamenti a bassa o moderata intensità in altitudine e completando gli allenamenti con delle sessioni ad alta intensità ad altitudini più basse, per riprodurre le situazioni di gara.

Un argomento delicato, a cui bisogna prestare adeguata attenzione, nella programmazione dei training camp in quota, è la tempistica di rientro a quote più basse prima della competizione.

È stato dimostrato che, gli effetti positivi ottenuti attraverso gli allenamenti in quota, al rientro ad altitudini minori, si manifestano a livello prestativo, con un aumento della performance, solamente 20/30 giorni dopo il rientro. Nonostante la massa dell'emoglobina guadagnata sia strettamente legata al Vo2 max e diminuisca del 45-50% dopo 25 giorni a livello del mare, ciò non ha influito significativamente sulla capacità prestativa degli atleti di endurance.

Sulla base di queste osservazioni, il rientro dall'altitudine è consigliato nelle 3-5 settimane che precedono importanti competizioni, in seguito a cui si andrà ad effettuare una fase di tapering, attuo a consentire il corretto recupero e la massimizzazione della performance.

Ovviamente non esiste una regola generale, l'allenamento va adattato e studiato sul singolo soggetto. I programmi di allenamento devono essere individualizzati e differenziati da atleta ad atleta in conformazione al calendario delle gare e agli obiettivi personali.



(L'immagine riassume i principali metodi di allenamento in condizioni di ipossia usati su un range di atleti)

BFR= blood flow restriction

CHT= continuous hypoxic training

CO2 absorption= rebreathing with a mask

HH= hypobarich ypoxia

IHE= intermittent hypoxic exposure

IHIT= IHE during interval-training

IHT=interval hypoxic training

IPC0 ischemic pre-conditioning

LHTH= live high train high

LHTL=live high-train low

LLTH= live low-train high,

LHTHL= live high-train high and low

LHTLH= live high-train low and high

NH= normobaric hypoxia

RSH= repeated sprint training in hypoxia

RTH = resistance training in hypoxia

VHL= voluntary hypoventilation at low lung volume

5.TENDE IPOSSICHE E CAMERE IPOBARICHE

Le tende ipossiche sono degli strumenti che vengono usati dagli atleti di endurance allo scopo di simulare l'effetto di un allenamento svolto in altura. Permette di ricreare le condizioni che un'atleta si trova ad affrontare in altura.

In Italia, fino alla recente riforma del 2024, era ritenuta una pratica dopante per l'aumento della massa eritrocitaria.

Recentemente anche la nostra legislazione ha riconosciuto legale questa pratica allo scopo di consentire l'uguaglianza tra gli atleti, siccome negli altri Stati se ne fa uso già da diversi anni. Consentendo l'utilizzo delle tende ipossiche è stato reso legale anche quello delle camere ipobariche.

TENDE IPOSSICHE

IL funzionamento delle tende ipossiche prevede la simulazione di ipossia, cioè la carenza di ossigeno che si registra con l'aumento della quota.

La tenda ipossica, opera riducendo la quantità di ossigeno disponibile nell'aria, senza manipolare la pressione atmosferica circostante.

Consistono di una piccola tenda o lettino, chiusa in una cupola,1 nelle versioni più semplici, ma si può arrivare a strutture davvero molto elaborate complete di ogni comfort. Esistono anche tende portatili che gli atleti portano nei vari luoghi di allenamento e nelle trasferte per non interrompere il trattamento.

Essa è costituita da un macchinario, chiamato generatore ipossico, che aspira l'aria dall'ambiente, ne riduce il contenuto di ossigeno fino ai livelli desiderati, e soffia l'aria ipossica nella tenda attraverso un tubicino, di diametro variabile ma in genere non superiore ai 2-3 cm.

All'interno della tenda, gli atleti respirano così un'aria con una percentuale inferiore di ossigeno rispetto all'aria a livello del mare, creando un ambiente di ipossia normobarica. Questo approccio offre un modo pratico e più accessibile per sperimentare gli effetti dell'allenamento in altitudine, senza la necessità di una struttura permanente o di complessi dispositivi di controllo.

Il fatto di simulare l'altitudine non è la stessa cosa di stare in altitudine. In quota la percentuale di ossigeno nell'aria è la stessa che a livello del mare, ciò che cambia è la pressione parziale dell'ossigeno quindi a livello polmonare la capacità di scambiare ossigeno e legarlo con l'emoglobina per poi essere trasportato nel torrente sanguigno; in una tenda ipossica invece avviene una diluizione quindi una diminuzione della percentuale di ossigeno per cercare di riprodurre ciò che avviene in quota.

CAMERE IPOBARICHE

A differenza delle tende ipossiche, la camera ipobarica invece opera direttamente una modifica della pressione atmosferica all'interno, quindi si viene a creare un ambiente di ipossia ipobarica.

Questo metodo offre un controllo più preciso sull'ambiente di allenamento, consentendo agli atleti di regolare la pressione dell'aria per simulare altitudini specifiche. Tuttavia, questa maggiore precisione e controllo spesso comporta un costo più elevato e la necessità di una struttura più robusta e permanente.

In sintesi, la tenda ipossica e le camere ipobariche hanno come effetto quello di aumentare l'eritropoietina, l'ormone responsabile della produzione di globuli rossi ovvero la parte "corpuscolata del sangue" che promuove lo scambio d'ossigeno negli organi e nei tessuti del corpo.

Normalmente viene impostata ad un'altitudine di 2000/2200mt ed è un modo per simulare il protocollo di allenamento „ Living high-training low “ma non è sicuramente come seguire un periodo di training quota.

6.ACCLIMATAZIONE E PATOLOGIE CORRELATE

L'allenamento e la permanenza in alta quota sono delle metodiche efficaci e apportano molto benefici se programmate nel modo corretto; in caso contrario possono portare a malattie e disfunzioni.

L'esposizione alla quota, senza una corretta acclimatazione può indurre problemi e complicanze che solitamente si risolvono nel giro di pochi giorni, ma ci possono essere casi anche più gravi.

Le principali malattie che si possono riscontrare, quando non è avvenuta una corretta acclimatazione sono: mal di montagna acuto, edema polmonare da alta quota, edema cerebrale da alta quota.

ACCLIMATAZIONE

Iniziamo con il definire il concetto di acclimatazione, processo di fondamentale importanza per tutti coloro che decidono di intraprendere attività in quota.

Con acclimatazione si usa indicare l'insieme di processi fisiologici e adattativi che si sviluppano in seguito all'esposizione prolungata o intermittente all'ipossia.

Al fine di consentire all'organismo di acclimatarsi nel modo corretto l'ascesa a quote superiori ai 1500 metri deve avvenire in modo graduale, controllato, idealmente per fasi.

Le fasi di ascesa devono essere proporzionali all'altitudine finale che si vuole raggiungere.

Nel caso in cui non si superino i 2500 metri il processo avviene nel giro di qualche giorno e non richiede fasi intermedie.

Se i soggetti si portano a quote maggiori è consigliato procedere per step, una prima fase che prevede l'acclimatazione fino a quote inferiori a 2500 metri della durata di 3/7 giorni, per poi portarsi fino a 3500 metri, altitudine dove dovrà soggiornare ancora alcuni giorni e in seguito potrà salire fino all'altitudine target. È importante procedere per fasi così da scongiurare l'insorgenza di patologie legate alla quota e consentire all'organismo di attuare i processi fisiologici necessari.

Idealmente esistono due modalità standard. La prima consiste nel salire di 300 metri al giorno, intervallando ogni 2-4 giorni delle fasi di stallo a determinate altitudini; la seconda prevede aumenti di quota di 150 metri al giorno senza periodi di stop ad altitudini fisse.

Per gli atleti, che hanno esigenza di acclimatarsi in periodi relativamente brevi, è possibile sfruttare le camere ipobariche, sottoponendosi ad esposizioni intermittenti all'ipossia. Questa pratica dovrà essere messa in atto una o due settimane prima della permanenza in quota e prevede diverse modalità di realizzazione.

Ci si può sottoporre a:

- 7-16 ore al giorno di esposizione a una quota simulata compresa tra i 2000 e 3000 metri. Periodo durante il quale il soggetto dorme.
- 0,5-1,5 ore giornaliere di esposizione a quote comprese tra i 2300 e i 3000 metri. Periodi in cui il soggetto si sottoporrà ad un allenamento di intensità pari al 50/60 % della frequenza cardiaca massima.
- 1,5-4 ore al giorno di esposizione a una quota compresa tra i 4000 e 4500 metri. Periodo in cui il soggetto rimarrà vigile.

EDEMA POLMONARE DA ALTA QUOTA

L'edema polmonare è un quadro clinico che si manifesta nelle persone che si recano a quote superiori ai 3000 metri. Generalmente insorge nelle 12-96 ore successive all'esposizione e con la permanenza.

Questa complicanza si manifesta con uno stravasamento di liquido dal microcircolo verso i tessuti interstiziali polmonari e negli alveoli.

I sintomi iniziali non sono gravi e si manifestano con: dispnea durante l'allenamento, affaticamento generale, tosse secca, dolore toracico, emicrania e nausea e riduzione della diuresi.

Se la permanenza in quota perdura, i soggetti subiscono un aggravamento dei sintomi, se scendono migliorano.

EDEMA CEREBRALE DA ALTA QUOTA

L'edema cerebrale da alta quota è la conseguenza più grave e può portare a coma o morte, se non trattato correttamente.

I sintomi iniziali sono simili a quelli delle altre malattie ma si manifestano da subito in forma più grave. Si assiste a: disturbi della visione, perdita di coordinazione neuro muscolare, perdita dei riflessi, emiparesi, confusione, che vanno ad aggiungersi ai sintomi di edema polmonare e male acuto di montagna.

Fortunatamente è una complicanza rara e colpisce in genere solo 1% dei soggetti che si portano a più di 2700 metri.

È causato dall'aumento della filtrazione di liquido dal microcircolo al tessuto interstiziale cerebrale.

Il soggetto affetto da questa complicanza deve essere portato a quote minori o effettuare delle sedute in camere iperbariche.

MAL DI MONTAGNA ACUTO

Il mal di montagna acuto è una patologia che si verifica in seguito ai cambiamenti della pressione parziale di ossigeno che risulta ridotta rispetto a quote inferiori.

I sintomi principali con cui si manifesta sono: cefalea, inappetenza, insonnia, vertigini, nausea, ritenzione di liquidi.

Nella maggior parte dei casi si risolve nel giro di qualche giorno, ma alcune volte può progredire, specialmente se si continua a salire di quota, e diventare edema polmonare o edema cerebrale d'alta quota.

Per evitare di incorrere in questa patologia è consigliato di: salire lentamente senza sbalzi di quota troppo consistenti; curare riposo, alimentazione e attività; evitare ulteriori salite se iniziano a comparire i sintomi.

Acute Mountain Sickness (AMS)	High Altitude Cerebral Edema (HACE)	High Altitude Pulmonary Edema (HAPE)
Anorexia	Headache	Chest tightness
Nausea	Disorientation	Persistent cough
Vomiting	Loss of coordination	Frothy sputum
Insomnia	Memory loss	Feeling of impending suffocation during sleep
Dizziness	Psychotic behavior	
Lassitude	Coma	
Fatigue		
Lightheaded		

(in foto una panoramica dei sintomi principali delle malattie legate alla quota)

7.SKYRUNNING



Lo scopo di questo elaborato è quello di illustrare i principali effetti della quota sull'organismo e le risposte fisiologiche di quest'ultimo. Questo mio interesse, nei confronti dell'argomento, deriva dalla pratica a livello agonistico dello skyrunning.

In breve, ci tengo a illustrare questa disciplina sportiva che ritengo molto affascinante e meritevole di attenzione.

Lo skyrunning è una disciplina che fa parte della corsa, si svolge in ambiente montano ad alta quota (si può arrivare anche a 4000 metri). È stato classificato come disciplina sportiva e organizzato a partire dal 1992, ad opera di Marino Giacometti.

Il termine significa letteralmente “corsa verso il cielo”, termine che definisce precisamente l’essenza di questo sport, che consiste nel correre a quote elevate su sentieri di montagna, includendo tratti di cammino e arrampicata.

A differenza del trail running, che consiste nel correre su sentieri boschivi a quote moderate, lo skyrunning richiede una preparazione fisica notevole che deve coprire più aspetti.

L'allenamento dello skyrunner deve includere tratti in salita, discesa, percorsi vari con escursioni altimetriche notevoli e cambiamenti di terreno. Idealmente in una competizione devono essere presenti tratti asfaltati, rocciosi, sterrati e sentieri boschivi.

L'allenamento sarà quindi orientato allo sviluppo di:

- **Resistenza.** La resistenza è fondamentale per lo skyrunning, dato che le gare si svolgono su lunghe distanze in ambienti montani che richiedono un notevole dispendio energetico. Gli allenamenti devono includere lunghe corse in salita per migliorare la resistenza cardiovascolare e abituare il corpo alla distanza di gara. L’incremento progressivo dei chilometri e dell’altitudine durante gli allenamenti aiuta l’atleta a gestire meglio la fatica nelle lunghe distanze.
- **Forza muscolare:** La forza delle gambe, in particolare, è fondamentale per superare i dislivelli tipici dei percorsi di skyrunning. È consigliato eseguire esercizi di forza mirati al potenziamento di quadricipiti, polpacci, e glutei. Una metodica molto efficace e di semplice esecuzione è l’allenamento a circuito con esercizi come squat, affondi e step-up può essere molto efficace. Integrare sessioni di forza due volte a settimana nel regime di allenamento può aiutare a costruire la potenza necessaria per affrontare i terreni più impegnativi.

- **Tecnica di corsa.** Per lo skyrunning, è necessario il perfezionamento della tecnica di corsa sia in salita che in discesa. Ciò include il miglioramento dell'efficienza nel passo, la capacità di cambiare rapidamente direzione e l'adattabilità a vari tipi di superfici. Allenarsi su terreni irregolari e variare spesso il tipo di suolo durante le corse può migliorare significativamente la tecnica e la sicurezza in discesa rendendo il gesto più economico.
- **Adattamento.** L'acclimatazione è un aspetto importante per chi pratica skyrunning, poiché molte gare si svolgono ad altitudini elevate che possono raggiungere talvolta i 4.000 metri. Passare del tempo in montagna, aumentando gradualmente l'altitudine degli allenamenti, può aiutare il corpo a adattarsi alle minori quantità di ossigeno disponibili mettendo in atto tutti i meccanismi fisiologici conseguenti alla prolungata esposizione all'ipossia. Inoltre, praticare sessioni di training in aree montane permette di acquisire familiarità con quest'ambiente.
- **Allenamento Invernale.** Durante l'inverno, è importante continuare l'allenamento per skyrunning sfruttando le condizioni stagionali. Lo sci alpinismo, ad esempio, è un'ottima alternativa per lavorare sulla resistenza e sulla forza, senza sovraccaricare le articolazioni e simulando il gesto e l'impegno fisico della corsa in salita.

In conclusione, ci tengo a sottolineare la mia passione per questo sport, che ritengo molto affascinante.

Nello skyrunning ho avuto la fortuna di trovare le soddisfazioni sportive tanto agognate; che con le precedenti discipline faticavo ad ottenere, ho imparato a sfidarmi, a mettermi in gioco e a spingermi al limite pur di ottenere ciò che desideravo.

Lo skyrunning mi ha anche aiutato a superare brutti periodi, dandomi la motivazione e la forza di stare meglio. Io penso che lo sport, in generale, se praticato nel modo corretto, sia una pratica molto utile in una moltitudine di ambiti e per

un'ampia varietà di persone. A partire dai bimbi che muovono i primi passi nella loro disciplina, fino alle persone anziane, desiderose di mantenersi in attività.

Purtroppo, però mi è capitato di vedere e di sperimentare quanto questo possa essere distruttivo se praticato in un clima poco confortevole e con le metodiche errate. È sempre più frequente la pratica a livello agonistico già in età precoce, cosa che reputo errata ai fini di un corretto sviluppo.

Io penso che ogni persona, a fini benefici, debba praticare un minimo di attività fisica, in modo corretto e salutare. In conclusione, una frase che mi è rimasta impressa anni fa: "Lo sport è passione, e le passioni salvano la vita."

BIBLIOGRAFIA

1. Alcaraz, Sanchez, et. Al., "Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training", 2008, J Strength Cond Res, 22: 667-671.
2. Beall CM, et. Al., "An Ethiopian pattern of human adaptation to high altitude hypoxia", 2002, Proc Natl Acad Sci, 99(26): 17215-8.
3. Berglund , "High-Altitude Training", 1992, Sports Medicine 14, 289-303.

4. Boyer, S. J., & Blume, F. D. Weight loss and changes in body composition at high altitude, 1984, *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*.
5. Chapman RF, et. Al., "Timing of return from altitude training for optimal sea-level performance", 2014, *J Appl Physiol*, 116(7):837-43.
6. Drust B, "Exercise at altitude", 2010, *Scott Med J*, 55(2):31-4.
7. Davies, K. J. Oxidative stress: the paradox of aerobic life, 1995.
8. Dragos, O., Alexe, D. I., Ursu, E. V., Alexe, C. I., Voinea, N. L., Haisan, P. L. Monea, D. Training in Hypoxia at Alternating High Altitudes Is a Factor Favoring the Increase in Sports Performance, 2022, *Healthcare (Basel)*.
9. Dr. Luigi Vanoni, "L'alta quota e gli effetti sull'organismo", Club alpino italiano, 2021
10. Gore CJ, et. Al, "Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure", 2007, *Med Sci Sport Exerc*, 10(2):1600-9.
11. Gerard Flaherty, et. Al., "Altitude training for elite endurance athletes: a review for the travel medicine practitioner.", 2016, *Travel Medicine and Infectious Disease* 14, p 200-211.
12. Honingman, B., et al, "Acute Mountain sickness in a general tourist population at moderate altitude", 1993, *Intern. Med.*, 118:587.
13. Hoiland, R. L., Howe, C. A., Coombs, G. B., & Ainslie, P. N. Ventilatory and cerebrovascular regulation and integration at high-altitude, 2018, *Clin Auton Res*.
14. Horiuchi, M., Nishida, A., Dobashi, S., & Koyama, K. Comparisons Between Normobaric Normoxic and Hypoxic Recovery on Post-exercise Hemodynamics After Sprint Interval Cycling in Hypoxia, 2022, *Front Physiol*.
15. Isao Murakoka, Yuko Gando, "Effect of the live high - train high and live high - train low protocols on physiological adaptations and athletic performance", 2012, *J Phys Fitness Sport Med*, 1(3): 447-455.
16. Inigo Mujika, et. Al., "Contemporary periodization of altitude training for elite endurance athletes: a narrative review", 2019, *Sport medicine*, 49:1651-1669.
17. John B. West, Andrew M. Luks, "Fisiologia della respirazione", USA, 2006, pp. 192-193.
18. Kazumichi Kurobe, et. Al., "effect of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength", 2015, *Clin Physiol Funct Imaging*, 35: 197-202.
19. Kon, et. Al., "Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise.", 2010, *Med Sci Sports Exerc*, 42:1279 1285.
20. Kraemer, et. Al., "Progression models in resistance training for healthy adults", 2002, *Med. Sci. Sport Exerc.*, 34: 364-380.
21. Levine BD. VO₂max: what do we know, and what do we still need to know?, 2008, *J Physiol*.

22. Mairbaurl H, "Red blood cell function in hypoxia at altitude exercise", 1994, *Int J Sports Med*, 15(2):51-63.
23. Malconian, M.K., and Rock, "Medical problems related to altitude.", 1994, *Human performance Physiology and environmental medicine at terrestrial extremes*, p 33.
24. Mazzeo RS, Fulco CS, "Physiological system and their responses to condition of hypoxia.", 2006, *ACSM's advanced exercise physiology*, 143:564-80.
25. MGovus, A. D., Garvican-Lewis, L. A., Abbiss, C. R., Peeling, P., & Gore, C. J. Pre-Altitude Serum Ferritin Levels and Daily Oral Iron Supplement Dose Mediate Iron Parameter and Hemoglobin Mass Responses to Altitude Exposure, 2015, *PLoS One*.
26. Millet GP, et. Al., "Combining hypoxic methods for peak performance", 2010, *Sport med*, 40(1):1-25.
27. Mounier R, et. Al., "Muscle specific expression of hypoxia-inducible factor in human skeletal muscle", 2010, *Exp Physiol*, 95(8):899-907.
28. Olivier Girard, Frank Brocheire, Paul Goods, Gregoire Millet, "An updated panorama of living low – training high altitude hypoxic methods", 2020, *Front. Sports Act. Living* 2:26.
29. Peter H. Hackett, "The cerebral etiology of high-altitude cerebral edema and acute mountain sickness", 1999, *Wilderness & Environmental Medicine*, vol. 10, Issue 2, pp 97-109.
30. Randall Wilber, "Application of altitude/hypoxic training by elite athletes", 2007, *Med. Sci. Sports exerc.*, Vol. 39, No. 9, pp. 1610-1624.
31. Robbins PA, "Role of the peripheral chemoreflex in the early stages of ventilatory acclimatization to altitude", 2007, *Physiol Neurobiol*, 158(2-3):237-42.
32. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE, "Altitude and endurance training", 2004, *J. Sport Sci*, 10:928-44.
33. Samaia , Prampero, Cerretelli, "The role of 2, 3-DPG in the oxygen transport at altitude", 1986, *Respir Physiol* 64:191-202.
34. Saunders PU, Pyne DB, Gore CJ. *Endurance training at altitude*, 2009, *High Alt Med Biol*.
35. Schmitt, L., Willis, S. J., Fardel, A., Coulmy, N., & Millet, G. P. Live high-train low guided by daily heart rate variability in elite Nordic-skiers, 2018, *Eur J Appl Physiol*.
36. Sharma, A. P., Saunders, P. U., Garvican-Lewis, L. A., Périard, J. D., Clark, B., Gore, C. J. Thompson, K. G. *Training Quantification and Periodization during*

Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study, 2018, J Sports Sci Med.

37. Sirotinin, N. N. Effect of acclimatization to high mountain climates on adaptation to decreased atmospheric pressure in decompression chambers, 1940, Arkh. Pat. Anat. Pat. Physiol.
38. Stephen R. Muza, Charles S. Fulco, Allen Cymerman, "Altitude acclimatization guide", 2004, Thermal & Mountain Medicine Division, p 3
39. Sutton JR, "Effect of acute hypoxia on the hormonal response to exercise.", 1977, J Appl Physiol, 42:587-592.
40. Zoll J, et. Al., "Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners III", 2006, J Appl Physiol, 100(4): 1258-66.
41. West JB. High-altitude medicine, 2012, Am J Respir Crit Care Med.