

## Valutazione analitica dei minerali in soggetti che svolgono attività sportiva

Fabio Diana

Specialista in Medicina dello Sport ed in Medicina interna

### INTRODUZIONE

L'importanza di poter determinare i livelli di minerali nell'organismo sia in soggetti sani che malati, ed anche negli sportivi è ormai riconosciuta da tutti.

Purtroppo sino ad oggi non esiste un metodo analitico che da solo possa dare precise informazioni qualitative e soprattutto quantitative sui minerali presenti nel corpo umano. Negli ultimi anni si è assistito comunque ad un proliferare di ricerche che si prefiggevano questo scopo. Il punto più difficile è sicuramente quello di riuscire tra questo grande numero di studi a selezionare i più validi ed a trovarne poi una applicazione pratica. Questo studio cerca in primo luogo di determinare la validità della ricerca dei livelli di minerali nei capelli, confrontandola con ricerche eseguite su altri materiali biologici e di vedere se esistono differenze quantitative dei minerali nei capelli tra soggetti che eseguono attività sportiva intensa e soggetti di controllo sani che svolgono un'attività fisica normale.

### IMPORTANZA DEI MINERALI NELLA NUTRIZIONE UMANA E NELLO SPORT

Tralasciando i cosiddetti elementi di massa (idrogeno, carbonio, azoto, ossigeno, zolfo), i minerali sono stati

distinti in macroelementi ed oligoelementi o elementi in traccia.

I macroelementi sono sodio, potassio, magnesio, fosforo, cloro, calcio. Sono costituenti dei tessuti e dei fluidi del corpo umano e risultano essenziali per le funzioni delle cellule. La loro concentrazione nei tessuti organici si misura in g/Kg ed il loro fabbisogno in g/die.

Gli oligoelementi od elementi traccia sono presenti nell'organismo in mg o frazioni di mg/Kg. G. Bertrand affermò all'inizio di questo secolo che un elemento traccia è un elemento essenziale presente in piccole quantità, ognuno di essi ha un ampio spettro di azione, dalla tossicità all'utilità, in rapporto alla dose ed allo stato nutritivo dell'animale o del sistema biologico. Tale concetto, per anni dimenticato, sta ritornando di grande attualità.

Gli elementi in traccia sono divisi in:

- 1) essenziali per gli animali superiori;
- 2) probabilmente essenziali;
- 3) non essenziali.

Sono considerati essenziali gli elementi presenti in traccia senza i quali l'organismo non è in grado di mantenere l'ottimo della crescita, della salute e della durata della vita. Sono considerati quindi essenziali quegli elementi traccia che rendono possibile la migliore attività fisiologica dei vari aspetti del metabolismo e la cui riduzione può determinare comparsa di malattia. Si capisce quindi come

anche piccole e marginali carenze di tali minerali possano determinare una importante riduzione dell'efficienza fisica negli sportivi, nei quali i vari processi metabolici vengono sfruttati al massimo.

Gli elementi oggi considerati elementi traccia, sono: ferro, rame, cobalto, iodio, manganese, zinco, selenio, cromo, stagno, stronzio, molibdeno, nichel, vanadio, silicio, arsenico, bario, boro, bromo, fluoro. Il loro numero varia in continuazione come conseguenza delle maggiori conoscenze che progressivamente acquisiamo su di essi. Minerali come cromo e selenio, una volta considerati tossici, rientrano ora a pieno diritto tra gli elementi traccia essenziali (Messina e Nocchi 1986).

Sino ad alcuni anni fa la mancanza di metodi analitici in grado di poter misurare quantitativamente i minerali aveva accentrato le ricerche soprattutto sui minerali tossici (mercurio, piombo, ecc.). La patologia da elementi traccia era limitata a ferro e rame per quanto riguarda l'accumulo, ed a ferro e iodio per la carenza. Ora il progresso della chimica analitica ha permesso di poter avere rilievi anche quantitativi e da allora una grande quantità di ricerche sono state effettuate e le conoscenze sulle conseguenze di eccessi o carenze di minerali sono enormemente aumentate.

Mentre in passato si distinguevano solo elementi utili e dannosi, oggi, con i moderni metodi di ricerca analitica, si è visto che anche elementi considerati tossici sono presenti nell'organismo umano in piccole quantità e che la riduzione di tali livelli produce anomalie metaboliche che possono essere corrette soltanto ripristinando le concentrazioni ottimali di tali minerali. Esempi tipici sono il cromo ed il selenio.

Gli effetti di un elemento traccia sugli animali e sull'uomo dipendono dalle sue proprietà, dalla quantità assunta e dallo stato nutritivo dell'organismo. L'aumento della dose provoca incremento della risposta biologica

sino al raggiungimento di un plateau oltre il quale si hanno azioni farmacologiche che possono essere seguite da effetti tossici od alterare l'equilibrio di altri minerali od altri costituenti organici.

Caratteristiche degli elementi traccia:

1) per ciascun elemento in traccia esistono valori di esposizione entro i quali l'organismo è in grado di mantenere una normale concentrazione tissutale;

2) quando tali valori sono superati ogni elemento traccia può divenire pericoloso;

3) gli elementi traccia partecipano in modo molto complesso ai diversi processi metabolici, per cui sono possibili e molto probabili antagonismi (ferro e zinco, zinco e rame, calcio e fosforo).

I minerali partecipano a diversi processi biologici, ed in particolare:

- sintesi degli acidi nucleici;
- costituzione di metallo enzimi;
- favoriscono l'attività degli enzimi;
- processi di ossido riduzione;
- intervengono nella funzione di ormoni: insulina (cromo), ormoni tiroidei (rame, manganese);
- intervengono nella funzione di vitamine (vitamina E e selenio);
- intervengono nella regolazione della immunità cellulare ed umorale (zinco, ferro);
- intervengono nella produzione, immagazzinamento e trasporto di energia;
- sono costituenti di molecole complesse: vitamina B12 e cobalto, emoglobina e ferro, insulina e zinco;
- proteggono l'organismo dai radicali liberi (selenio).

### **CAUSE E CONSEGUENZE DI CARENZE O ECCESSI DI MINERALI NELL'UOMO**

Una ridotta efficienza fisica o vere e proprie malattie come conseguenza di alterazioni dei livelli dei minerali si possono verificare per carenza od eccesso del minerale o per alterazione dei meccanismi omeostatici dell'or-

ganismo deputati alla regolazione delle concentrazioni dei minerali (ferro ed emosiderosi).

#### **1) Malattie da carenza di minerali**

La carenza può dipendere da ridotto apporto, ridotto assorbimento, non biodisponibilità del minerale o da aumentato consumo. Ad esempio nell'atleta il ferro può essere carente ma spesso è meno biodisponibile per la formazione di legami più stabili (Magnusson et al 1984; Resina et al 1988).

La carenza di un minerale può determinare sintomi aspecifici in considerazione che un minerale entra in più processi metabolici e che in uno stesso processo metabolico partecipano più minerali. Ad esempio una riduzione delle difese immunitarie può dipendere dallo zinco o dal ferro, una anemia ipocromica microcitica può dipendere da una carenza di ferro o rame. La carenza può determinare quindi specifiche malattie o favorirne l'insorgenza, come nel caso del cromo e del diabete H. (Jeejeebhoy KN et al. 1977; Freund et al. 1979).

Sino a qualche anno fa si tendeva ad escludere la possibilità di carenze di minerali considerando l'abbondante alimentazione e la diffusione di tali elementi nell'ambiente e nei cibi. Oggi si ammette invece come conseguenza dei rilievi analitici come invece siano possibili e, secondo alcuni studi anche diffuse, queste carenze. La raffinazione, la conservazione degli alimenti, i metodi di coltura, l'impoverimento dei terreni, l'uso di farmaci, l'eccesso di attività fisica, malattie varie, diete inadeguate, possono alterare l'equilibrio dei minerali e di altri nutrienti con importanti variazioni sullo stato di salute e sull'efficienza fisica del soggetto (Comi D. 1990; Turchetto E. 1989, Truswell AS 1987).

Un alterato assorbimento può determinare carenze di minerali. Alcune malattie specifiche come la acrodermatite enteropatica possono determinare ridotto assorbimento di uno spe-

cifico elemento (zinco). Malattie come morbo celiaco, morbo di Chron, sprue tropicale, alterata secrezione biliare, malattie infettive o parassitarie, ma anche alterazioni della motilità intestinale, uso di lassativi, uso di farmaci (antiacidi, fosfati, tetraciline e ferro) (Truswell AS 1987) possono interferire sull'assorbimento dei minerali. Un altro punto estremamente importante, soprattutto in considerazione del sempre più diffuso uso ed abuso di integratori alimentari, è la possibilità di effetti competitivi che si possono stabilire tra minerali o tra essi ed altre sostanze nutritive, sia a livello di assorbimento (calcio e fosforo, calcio e rame, calcio e zinco, zinco e rame, ferro e rame) (Comi D. 1991; Turchetto E. 1989) che dei diversi siti metabolici. In questi casi ad esempio una prolungata integrazione con ferro può determinare alterazione dell'assorbimento di zinco e/o rame e viceversa con importanti alterazioni dell'efficienza energetica e del rendimento sportivo.

Un'altra possibile causa di carenza si può determinare per eccessiva eliminazione dell'elemento, o in caso di malattie vere e proprie, o in caso di altre situazioni come nell'alcolismo cronico (zinco e magnesio), abuso di saune (Uhari M. 1983) o sudorazione eccessiva (zinco), sport aerobici prolungati (Resina A. et al 1990), ecc.

Anche una carenza di minerali nell'acqua (iodio, fluoro) o nel terreno (selenio, iodio) può determinare una ridotta concentrazione tissutale degli stessi.

#### **2. Malattie da eccesso di minerali**

Tale situazione si può verificare per:

- accumulo per eccessiva assunzione con la dieta con integratori o per sbilanciamento dei rapporti dei minerali. Ad esempio una maggiore assunzione di proteine può favorire l'assorbimento del calcio, una carenza di calcio favorisce l'assorbimento di ferro e rame;
- accumulo da ridotta escrezione (insufficienza renale, ecc);

- accumulo per alterazione dei sistemi di trasporto (ferro e rame).

Un accumulo di un minerale nei tessuti organici si può verificare anche per ridotta biodisponibilità del minerale stesso (cromo e diabete gestazionale, magnesio e calcoli renali) (Aharoni A et al 1992; Durak I. et al. 1990).

In quest'ultimo caso, nonostante gli apparenti livelli alti del minerale in certi tessuti, i sintomi saranno simili a quelli di carenza dell'elemento stesso.

Alcuni minerali si possono accumulare nell'organismo per insufficienza dei meccanismi omeostatici o per prolungate esposizioni. Alluminio e piombo si possono accumulare come conseguenza dell'inquinamento atmosferico. Cromo, ferro, nichel se presenti in eccesso nell'aria possono accumularsi attraverso le vie respiratorie e ogni minerale avrà destino diverso in rapporto alle proprie caratteristiche chimico-fisiche (Harrison, Principi di medicina interna XI ed., Ziemacki G. et al. 1989).

Alcuni minerali si accumulano in tessuti specifici (cadmio nel rene e piombo nell'osso), e questo dovrà anche essere tenuto in considerazione per vedere che materiale biologico utilizzare per gli esami analitici.

## CONSIDERAZIONI SU ALCUNI MINERALI IN RAPPORTO ALL'ATTIVITÀ SPORTIVA

Le informazioni riguardo l'importanza dei minerali nello sport stanno aumentando di pari passo con il gran numero di ricerche eseguite in proposito. Alcuni minerali ritenuti non importanti sino a qualche anno fa ora vengono considerati maggiormente.

### - Sodio

Il sodio è il principale catione extracellulare, contribuisce al mantenimento del volume di liquido extracellulare, alla regolazione del bilancio acido-base e, della funzione nervosa

e muscolare interessando l'ATPasi sodio-potassio dipendente.

Anche dopo esercizio fisico intenso e prolungato, non sono state riscontrate riduzioni della concentrazione del sodio nel sangue, risultando l'apporto ampiamente sufficiente a compensare le perdite. Durante esercizio fisico intenso e breve si nota un incremento della natremia correlabile positivamente con l'intensità del lavoro, conseguente all'emoconcentrazione, mentre la quantità totale di sodio plasmatico presenta una riduzione. Tale situazione è dovuta inizialmente al passaggio del sodio dal compartimento vascolare a quello intracellulare e successivamente alle perdite con la sudorazione.

### - Potassio

Il potassio, principale ione positivo dei liquidi intracellulari, regola il bilancio acido-base, è essenziale per l'attività dei muscoli scheletrici e per la contrattilità cardiaca. L'attività fisica determina delle modificazioni dei livelli di potassio a seconda della intensità e della durata del lavoro muscolare. L'esercizio prevalentemente anaerobico determina un aumento di breve durata della concentrazione e del contenuto plasmatico del potassio come conseguenza del passaggio dello ione dal compartimento intracellulare a quello interstiziale ed infine vascolare. Biopsie muscolari effettuate prima e dopo sforzi esaurienti hanno evidenziato una diminuzione rilevante del potassio intracellulare, soprattutto a carico dei gruppi muscolari più sollecitati. Anche sforzi sottomassimali più o meno prolungati determinano alterazioni simili, mentre attività sportive di endurance di lunga durata hanno evidenziato una riduzione della concentrazione plasmatica di potassio come conseguenza delle perdite con la sudorazione.

### - Calcio

Questo minerale è prevalentemente localizzato nelle ossa e nei denti dove

svolge una funzione di sostegno, ma la rimanente parte distribuita in altri tessuti e liquidi organici è importantissima per il controllo dell'eccitabilità dei nervi periferici e dei muscoli, entra in numerose attività enzimatiche e nel processo della coagulazione.

Le modificazioni della concentrazione plasmatica del calcio con l'attività fisica sono in genere modeste e discordanti. In generale si osserva una maggiore perdita con la sudorazione ma entra in gioco anche un meccanismo di risparmio, cosa che si verifica anche per molti altri minerali. L'attività fisica determina una aumentata densità ossea prima del raggiungimento della maturità ossea, ma, uno sforzo fisico violento e non abituale può determinare progressiva demineralizzazione con insorgenza anche di fratture da fatica.

Molte sostanze sono in grado di *interferire con l'assorbimento e l'utilizzazione del calcio: eccesso di ossalati, fitati, grassi nella dieta, farmaci come antibiotici e cortisonici, iper-mobilità intestinale e lassativi, fumo di sigarette, dieta ipoproteica (minore assorbimento) o iperproteica (maggiore eliminazione urinaria), eccesso di fosforo nella dieta* rispetto al calcio.

### - Magnesio

Il magnesio partecipa ai processi di produzione energetica ed è importante per un'adeguata conduzione nervosa e contrazione muscolare regolando l'eccitabilità delle cellule nervose e muscolari. Durante il lavoro muscolare intenso e di lunga durata sono stati riscontrati comportamenti variabili della concentrazione plasmatica del magnesio. *L'attività fisica può essere responsabile di considerevoli perdite di magnesio con la sudorazione* anche se è stato descritto un meccanismo di risparmio ed un aumento del riassorbimento renale del minerale. Durante attività fisiche intense e prolungate è stato notato uno spostamento del magnesio dall'inter-

no degli eritrociti verso il plasma ed ai tessuti muscolari.

La somministrazione di magnesio per *tre settimane* in un gruppo di maratoneti ha consentito di *ridurre i fenomeni di catabolismo proteico del muscolo rispetto agli atleti di controllo, evidenziando un effetto protettivo sul muscolo in attività*. È anche stata rilevata una correlazione tra livelli plasmatici di magnesio e *VO2 max*, forse dovuta all'azione facilitante del minerale sul rilascio di O<sub>2</sub> al muscolo in attività (Lukaski et al. 1983). Una lieve ipomagnesemia che si instaura in corso di attività fisica protratta può condurre ad una riduzione della performance. È stata dimostrata una *correlazione positiva fra magnesemia e contrazione volontaria massimale del muscolo quadricipite femorale*.

#### – Fosforo 800 mg/die

Il fosforo entra nella costituzione, con il calcio, delle ossa e dei denti, ed inoltre degli acidi nucleici e dei legami fosforici ad alta energia di ATP, ADP, Fosfocreatina, ecc.

Il suo assorbimento è regolato dalla vitamina D e la sua eliminazione prevalentemente renale risente del rapporto calcio-fosforo nella dieta. Ciò va tenuto in considerazione in caso di integrazioni importanti e prolungate. Una assunzione di fosforo può incrementare il rendimento per pochi giorni o sul momento.

#### – Zinco/15/die

Lo zinco è un minerale fondamentale per moltissime reazioni enzimatiche ed è direttamente implicato nel metabolismo proteico, lipidico e degli acidi nucleici. Una carenza di zinco può verificarsi per diete ipoproteiche o ricche di fibre e fitati. Un ridotto assorbimento si può verificare in caso di prolungato ed eccessivo apporto alimentare di ferro, situazione non rara tra gli atleti. In corso di attività fisica prolungata si sono evidenziate aumentate perdite sia urinarie che con la sudorazione. Riduzioni dello

zinco plasmatico sono state osservate dopo attività sportive impegnative di lunga durata o dopo periodi di allenamento. Importante è soprattutto l'attività dello zinco a livello eritrocitario dove, agendo come componente dell'anidrasi carbonica, esso svolge un'azione importante nel trasporto dei gas e nell'equilibrio acido base. Altre azioni importanti del minerale per lo sportivo sono da ricollegarsi all'attività antiossidante e di stimolo delle difese immunitarie. È stato dimostrato come un supplemento di zinco con la dieta possa ridurre la fatica del muscolo striato probabilmente favorendo l'allontanamento del lattato ematico per stimolazione della latticodeidrogenasi.

#### – Ferro 10-18/die

Il ferro è indispensabile all'organismo per la sintesi di emoglobina, mioglobina, enzimi cellulari come catalasi, citocromi, perossidasi e glicerofosfato deidrogenasi. Nel soggetto che compie attività sportiva prevalentemente aerobica si verificano modificazioni del metabolismo del ferro di tipo cronico che possono anche evolvere in condizioni di minore disponibilità del minerale con riduzione dell'efficienza fisica sino alla possibilità dell'instaurarsi di un'anemia sideropenica. Frequenti, forse dovute all'emodiluizione, sono i cali di emoglobina, ematocrito, sideremia e ferritinemia. Diversi studi negli atleti hanno evidenziato alterazioni tra cui minore assorbimento intestinale, aumentate perdite fecali, urinarie e con la sudorazione. La emolisi intravascolare aumentata rende ragione dei più bassi livelli di aptoglobina circolante. Il complesso emoglobina aptoglobina, captato quasi esclusivamente a livello degli epatociti determinerebbe una alterata distribuzione del ferro intracellulare con minore utilizzazione e ridotta ferritinemia (indicatrice del ferro reticolo endoteliale). L'integrazione di ferro è quindi molto usata in considerazione dell'importanza del minerale sia per il trasporto dell'ossi-

geno che per la produzione di energia. Tale supplementazione deve comunque non interferire con altri minerali come zinco e rame. La carenza di ferro deve essere analizzata con attenzione soprattutto nelle atlete dove il ciclo mestruale, soprattutto se abbondante, può essere responsabile di una notevole perdita del minerale.

#### – Rame

Minerale importante in molte reazioni enzimatiche coinvolte nel metabolismo lipidico, *energetico* e dei *radicali liberi*, nella *eritropoiesi* e nel *metabolismo del ferro*. L'assorbimento può essere ridotto da un *eccesso di fibre nell'alimentazione*. Anche una *eccessiva assunzione di ferro e di zinco* può influire sull'assorbimento ed utilizzazione del rame. Studi eseguiti per valutare gli effetti dell'attività fisica sulla cupremia hanno dato risultati contrastanti. Aumentate perdite di rame nell'attività fisica si sono verificate in caso di *profusa sudorazione* od in *caso di stress* fisico associato ad insufficiente apporto alimentare. In generale l'attività fisica sembra determinare un bilancio negativo del rame che fa ritenere opportuna una sua integrazione anche in caso di apporto alimentare sufficiente. Da ricordare *l'importanza del rame per l'attività della SOD, enzima ad azione di difesa contro i radicali liberi*, composti chimici dannosi la cui produzione aumenta in corso di attività fisica intensa.

#### – Selenio

Il selenio partecipa alla costituzione di enzimi ad azione antiossidante come glutatione perossidasi e fosfolipide idroperossido glutatione perossidasi svolgendo un importantissimo ruolo protettivo contro i danni cellulari da perossidazione. Esso riduce il fabbisogno di vitamina E. Il selenio, in considerazione della sua importanza contro i danni da radicali liberi, la cui formazione aumenta nell'atleta, può rivestire un ruolo importante nella preservazione della salute dell'or-

ganismo umano. Carenze di selenio sono state messe in relazione con una maggiore insorgenza di patologie tumorali, miocardiopatie, collagenopatie ed arteriosclerosi con danni conseguenti.

#### – *Manganese*

Svolge un importante ruolo nell'attività di numerosi enzimi coinvolti nel metabolismo energetico e proteico tra cui la superossido-dismutasi (SOD) mitocondriale, la piruvato carbossilasi e la glicosil trasferasi. Il manganese riveste quindi importanti azioni antiossidanti, di sintesi dei carboidrati e metabolizzazione del piruvato estremamente importanti per un ottimale rendimento sportivo. L'assorbimento del manganese a livello intestinale viene ostacolato da un eccesso di calcio, fosfati, proteine della soia, ed inoltre presenta una reciproca inibizione con il ferro. La presenza di una competizione a livello cellulare tra manganese, rame, ferro e magnesio fa ritenere probabili, alterazioni del metabolismo del manganese negli atleti.

#### – *Cromo*

Costituente fondamentale del fattore di tolleranza al glucosio, il cromo è fondamentale per la funzione dell'insulina e per la stabilità dei livelli glicemici. Il cromo agirebbe come cofattore nella interazione tra insulina e recettori insulinici di membrana, migliorandone la risposta allo stimolo ormonale. Esso potrebbe quindi svolgere un ruolo importante sul metabolismo glicidico durante attività fisica, situazione nella quale si determina una relativa ipoinsulinemia. Durante attività aerobica protratta ed intensa si è evidenziato un aumento dei livelli ematici di cromo per due ore associato ad una aumentata perdita con le urine. Tale situazione rende possibile una alterazione dei livelli di cromo negli atleti anche in considerazione di rilievi di basso apporto nella popolazione. Tale minerale è anche importante per la sintesi proteica. Negli animali e nell'uomo determina

inoltre una riduzione dei livelli di colesterolo ed un aumento della frazione HDL con possibile azione protettiva sulla prevenzione dell'arteriosclerosi.

Concludendo, si può dire come situazioni di carenza assoluta o relativa di uno o più minerali siano sicuramente ipotizzabili, sia in rapporto ad un aumento consumo determinato dall'attività sportiva, sia come conseguenza di alimentazioni sbilanciate e soprattutto di integrazioni prolungate di un singolo minerale. Tale minerale in eccesso attraverso meccanismi di competizione sia a livello di assorbimento che di utilizzazione può determinare una carenza soprattutto marginale di altri elementi. D'altra parte in un campo come quello sportivo, nel quale si ricerca l'ottimale funzione dei vari metabolismi, carenze anche piccole ma dal punto di vista metabolico significative andrebbero ricercate e colmate. Importante diventa quindi l'utilizzo di metodi analitici validi, sicuri, che diano una visione non parcellare ma globale di più minerali, ma comunque l'utilizzo di una integrazione deve essere sempre basata sull'esperienza, sull'anamnesi, e solo suffragata da esami come quello del sangue, intraeritrocitario, sui capelli o su altri substrati biologici.

#### **METODI ANALITICI PER LA VALUTAZIONE DEI MINERALI NELL'UOMO**

Nonostante la bassa concentrazione di molti minerali nell'uomo, alcuni di essi sono molto importanti per un ottimale funzionamento dell'organismo. Anche variazioni dei rapporti tra minerali più rappresentati (calcio e fosforo, sodio e potassio) possono determinare una minore efficienza fisica. Elementi come cadmio, mercurio, arsenico, piombo, in eccesso sono molto pericolosi, ma anche altri minerali essenziali come cromo e selenio oltre certe concentrazioni diventano nocivi.

Un eccesso o una carenza di alcuni elementi può essere in tutto o in parte responsabile di un certo numero di segni e sintomi e di un ridotto rendimento energetico, per cui diventa importante poter determinare accuratamente i livelli dei minerali nell'organismo. Le moderne tecniche di chimica analitica come la spettrofotometria ad assorbimento atomico, le analisi ad attivazione neutronica ed altre permettono ora una accurata determinazione qualitativa e quantitativa di molti elementi. Diventa importante invece stabilire quale substrato organico utilizzare per l'analisi e vedere se esistono per ogni minerale substrati più affidabili di altri.

Molti tessuti, anche se ottimali, non sono utilizzabili negli organismi viventi. Ad esempio, il piombo si deposita soprattutto nelle ossa e nei denti mentre il cadmio prevalentemente nei reni e nel fegato, ma biopsie di tali organi non possono essere utilizzate per analisi su ampia scala, e quindi si deve scegliere un substrato che, anche se non ottimale, possa essere raccolto più facilmente ed in modo meno traumatico possibile.

Possibili campioni da analizzare possono essere sangue (plasma o componente cellulare), urine, capelli, unghie, denti, sudore e saliva.

Le urine danno informazioni solo su ciò che il corpo elimina e non su ciò che trattiene.

I denti sono di difficile utilizzo, a parte uno studio fatto sulla concentrazione del piombo nei denti da latte (Needleman et al. 1979). In uno studio sono stati analizzati sangue, denti e capelli per valutare l'esposizione a piombo e cadmio in bambini viventi in una zona industrializzata. In tale ricerca si mette in evidenza come questi tre substrati organici diano differenti informazioni nel predire l'esposizione dei bambini a tali metalli tossici. I capelli sono stati considerati come l'indicatore più completo dei tre per tale scopo (Bergomi M et al. 1989).

Le informazioni sulle unghie sono

scarse e sono facili le contaminazioni. Alcuni articoli recenti indicano comunque un loro possibile utilizzo per la ricerca di intossicazioni da parte di alcuni elementi. In uno studio capelli e unghie si sono rivelati idonei per determinare esposizione occupazionale a fluoruri (Czarnowski W. et al. 1990). Uno studio che raffrontava i livelli di alcuni minerali nelle unghie e nei capelli ha evidenziato una maggiore affidabilità per l'esame eseguito sui capelli (Whilhelm M. et al. 1991).

Interessanti sembrano gli studi fatti sulla concentrazione dei minerali nel sudore, in particolare per quanto riguarda il minerale zinco. In uno studio eseguito su un gruppo di bambini dislettici, nei quali in precedenza erano stati riscontrati bassi livelli di zinco ed alti livelli di metalli tossici nei capelli, l'analisi del sudore con uno spettrofotometro ad assorbimento atomico ha confermato queste alterazioni dei minerali ed i dati ottenuti sono stati messi a confronto con gli stessi dati ottenuti sui capelli (Grant C.G. et al. 1988).

Le ricerche sulla concentrazione dei minerali nella saliva sono ancora piuttosto scarse. Uno studio sulla concentrazione dei livelli di zinco, magnesio, rame e proteine nella saliva umana ha evidenziato discordanze tra i livelli dei minerali nella saliva, nel plasma e nei capelli (W. Bales et al. 1990). Tali differenze, almeno in parte, potevano essere dovute agli effetti variabili su questi substrati di età e sesso. Altre ricerche sono state fatte in passato sulla concentrazione dello zinco nella saliva e si è riscontrata una relazione tra questo dato e l'apporto alimentare (Freeland-Graves J.H. et al. 1981; Greger J.L. et al. 1979).

Il sangue rimane a tutt'oggi uno dei substrati più utilizzati per la determinazione dei livelli di minerali, anche se il contenuto nel plasma per la maggior parte di essi riveste scarso significato. Dati molto più interessanti si sono ottenuti con la ricerca

degli elementi all'interno delle cellule (eritrociti, leucociti, linfociti) (Abraham G.E. et al. 1981; Cox I.M. et al. 1991; Paolisso et al. 1989; Wells L. et al. 1988). Va considerato che i dati che possono scaturire da esami eseguiti sul plasma rispetto a quelli eseguiti all'interno delle cellule (del sangue, dei capelli o altre), sono potenzialmente diversi ed anzi, ci si dovrebbe aspettare delle discordanze, rappresentando i primi dati sul trasporto ed i secondi dati più stabili sull'accumulo e l'utilizzazione dei minerali stessi.

Sangue e capelli, inoltre, rappresentano lo stato degli elementi del corpo in tempi diversi. I dati sui minerali contenuti nel sangue sono transitori, correlati alla loro assunzione nelle ore e nei giorni precedenti, mentre al contrario i capelli danno informazioni non sullo stato attuale degli elementi ma su una media delle settimane o mesi precedenti.

Per molti elementi il sangue non si è dimostrato un campione affidabile, come ad esempio per i metalli tossici, per lo zinco, il rame, (Wells L. et al. 1988; Cox I.M. et al. 1991; Paolisso G. et al. 1989) ecc. Soprattutto per elementi come piombo, mercurio, cadmio, alluminio ed altri, per i quali è importante sapere anche l'accumulo nell'organismo, il sangue è di scarso aiuto. Diversi studi concordano sul fatto che il sangue è un campione non affidabile per la determinazione dei metalli tossici in quanto tali elementi rimangono in circolo per tempi brevi per poi andare a depositarsi in tessuti specifici. Il sangue può quindi dare informazioni su esposizioni molto recenti e non ne dà invece sull'accumulo di tali minerali nell'organismo. Al contrario un esame analitico dei capelli può indicare esposizioni anche di settimane o mesi precedenti o comunque evidenziare un accumulo dei metalli tossici. I capelli sono stati utilizzati con successo per convalidare il sospettato avvelenamento con periodiche dosi di arsenico di Napoleone Bonaparte (Smith H

et al. 1962). In alcuni laboratori, procedendo ad un esame del capello seriato lungo la sua lunghezza, si può approssimativamente risalire anche al periodo di esposizione (Phelps R.W. et al. 1982). Nella esperienza personale accumulato di metalli tossici insospettati è stato messo chiaramente in evidenza con un esame dei minerali eseguito sui capelli con la tecnica descritta nel capitolo materiali e metodi. Ad esempio un paziente che presentava livelli elevati di piombo nei capelli, ha visto calare tale concentrazione dopo aver smesso di lavare le bottiglie per il vino con pallini da caccia. Tale abitudine aveva portato ad intossicazione alcuni individui nel 1983 (Molinini R. 1989). Un accumulo di metalli tossici nei capelli è stato messo ripetutamente in relazione con problemi psicologici nei bambini (Lester M.L. et al. 1982; Rimland B. et al. 1983; Marlowe M. et al. 1984).

Il sangue non sembra essere un substrato affidabile per molti minerali. Esso presenta una composizione complessa ed eterogenea consistente in diverse parti che presentano differenti concentrazioni di minerali.

Il livello di un minerale nel sangue può essere ricercato nel sangue intero, nel plasma, siero, leucociti o eritrociti. Diversi studi evidenziano differenze nella concentrazione dei minerali in questi compartimenti, ed inoltre spesso, come accade soprattutto nel corso di attività fisica, si assiste ad un movimento di essi dal siero all'interno di eritrociti e leucociti e viceversa. Le ricerche più recenti danno una importanza maggiore, soprattutto per la stabilità dei risultati, alla concentrazione intracellulare dei minerali, in particolare per zinco (Meadows N.J. et al. 1981 e 1983, L. Wells et al. 1988) e magnesio (Vanroellen W.F., 1985; Paolisso e D'Onofrio, 1989, I.M.Cox, 1991), due minerali importantissimi per tutti ma soprattutto per chi pratica attività sportiva a livello agonistico.

L'emolisi determina una fuoriuscita

dello zinco dell'anidride carbonica dagli eritrociti, zinco che costituisce il 75-85% del totale presente nel sangue, cosicché sia il livello del plasma che quello intracellulare possono risultare alterati.

Il sangue, come detto precedentemente per i metalli tossici, spesso costituisce solo il mezzo di trasporto di essi ai tessuti o agli emuntori, per cui può evidenziare dati indipendenti dal livello degli stessi minerali nei tessuti. L'uso dei capelli come substrato organico su cui eseguire esami analitici sui minerali presenta numerosi vantaggi:

1) I capelli possono dare una indicazione migliore sull'assunzione e ritenzione di un minerale nell'organismo in quanto, usando capelli di lunghezza di pochi centimetri, a partire dallo scalpo, si possono avere dati medi riguardanti le ultime settimane di vita del soggetto.

2) I capelli possono dare importanti informazioni sulla variazione delle concentrazioni dei minerali in tempi lunghi, sia analizzando il capello a diversa distanza dalla radice, sia eseguendo prelievi a distanza di mesi. Tale esame è stato eseguito anche sui capelli di Napoleone Bonaparte per evidenziare la progressiva assunzione di arsenico (Smith H. et al. 1962).

3) I campioni possono essere prelevati più facilmente ed in modo meno traumatico rispetto ad altri tessuti. Inoltre tali campioni non si deteriorano e possono essere conservati a lungo inalterati.

4) I capelli sono un substrato inerte e chimicamente omogeneo, costituito da una proteina fibrosa, alfa-cheratina, situata in una matrice di un'altra proteina di struttura amorfa, chimicamente molto simile. La struttura del capello è permanente, e, quando un minerale vi viene incorporato, esso vi rimane fissato. Per tale motivo i capelli rappresentano il substrato organico più utile anche per evidenziare esposizioni a metalli tossici.

5) I minerali sono presenti nei capelli in concentrazione più alta rispetto ad

altri tessuti e soprattutto al sangue. La concentrazione media del cromo, per esempio, è 50 volte maggiore nei capelli che nel sangue.

6) Le cellule, e non il sangue o le urine, sono le strutture metabolicamente più attive. Tale rilievo ci potrebbe permettere di vedere la reale utilizzazione di un elemento e di avere anche dati sul metabolismo. Rimane da chiarire se ed in che percentuale i capelli forniscano informazioni sui minerali intra od extracellulari.

Tali vantaggi hanno fatto dei capelli una possibile attraente alternativa al sangue per esami riguardanti i minerali. Ma nel tempo sono sorti diversi inconvenienti, solo in parte risolti, nell'esecuzione di tali esami.

Si sono notate variazioni della concentrazione dei minerali nei capelli di diverse zone del cuoio capelluto. Tali variazioni sono comunque piccole e gli esami vengono oggi eseguiti con prelievi presi dalla regione occipitale della testa.

Gli elementi contenuti nei capelli possono esservi arrivati in due modi. Attraverso il sangue, come conseguenza di un processo sistemico dopo essere stati assorbiti per ingestione od inalazione (endogeni), o come conseguenza di contaminazione esterna (esogeni) (Senofonte O. et al. 1989; Wilhelm M. et al. 1990). Considerando che nella maggior parte dei casi la ricerca dei minerali nei capelli viene eseguita per vedere l'equilibrio degli elementi nel corpo umano o l'accumulo di metalli tossici, diventa fondamentale distinguere i due casi, anche se un'importante contaminazione esterna deve essere tenuta in considerazione in rapporto ai pericoli che essa potrebbe rappresentare per la salute. Per arrivare a tale scopo diventa importante conoscere le cause di possibili variazioni dei minerali nei capelli ed utilizzare una metodica di prelievo e di analisi che elimini il più possibile le contaminazioni esterne senza modificare le caratteristiche del campione in esame. Diventa anche chiaramente importante conosce-

re nel modo migliore le abitudini di vita del soggetto in esame, come l'ambiente occupazionale, l'uso di farmaci o integratori, abitudini di vita, ecc...

Per quanto riguarda il prelievo, vengono utilizzati capelli prelevati dalla zona nucale, in considerazione del riscontro di diverse concentrazioni di minerali nei capelli in rapporto alla zona del cuoio capelluto dalla quale venivano presi. Tali differenze sono comunque minime. Vengono utilizzati solo i primissimi centimetri di capelli (1-3 cm) a partire dal cuoio capelluto, in quanto si è visto che la concentrazione di minerali dovuta a contaminazione esterna aumenta lungo la lunghezza del capello. Peraltro ricerche nelle quali si comparavano capelli ascellari e pubici con i capelli hanno messo in evidenza come mentre luogo di residenza, colore dei capelli, fumo di sigaretta potessero influire sui livelli di minerali nei capelli, tali livelli non venivano alterati seriamente da contaminazioni esterne (Wilhelm M. et al. 1990).

Forse uno dei più grossi ostacoli è stato trovare un adeguato metodo di lavaggio dei capelli, in grado di pulirli dai contaminanti esterni ma anche di non modificarne il contenuto in minerali. Molte procedure di lavaggio sono state utilizzate negli anni, dall'uso dell'acqua bidistillata a quella di solventi organici come acetone od altri solventi organici. Comunque, all'interno di uno stesso studio la stessa procedura è utilizzata per tutti i soggetti. Anche in questo caso le ultime tecniche di lavaggio sembrano dare scarse differenze di risultati se confrontate tra loro, anche se invece sembra che le differenze nei dati tra campioni lavati e non lavati siano importanti. Il lavaggio, soprattutto se prolungato e nelle donne, determina riduzioni importanti di minerali come sodio, potassio, magnesio e calcio. Si sta ora discutendo se tali differenze siano ascrivibili a perdita di minerali "endogeni" o se invece siano solo la conseguenza di la-

vaggio di minerali "esogeni", cioè depositati sull'esterno dei capelli. Da rilevare comunque che i prelievi eseguiti nella ricerca sono stati fatti dopo che gli atleti avevano lavato i capelli con shampoo, e comunque gli atleti presentano un numero di lavaggi di capelli settimanale considerevolmente più alto dei controlli come conseguenza della loro attività. Di conseguenza tale situazione avrebbe dovuto al limite abbassare i livelli di sodio e potassio più che aumentarli.

Forse questo dato da solo può spiegare il riscontro di differenze marcate nei risultati ottenuti da laboratori diversi, utilizzando lo stesso campione. Da tenere in considerazione che tale esame è diventato una fonte consistente di guadagno ed è soggetto a molte speculazioni.

Molti laboratori vendono tale esame a prezzi estremamente bassi e senza assicurazioni di qualità (Barret S. 1985).

Anche dalla mia esperienza risultano differenze quantitative importanti su dati ottenuti da due diverse laboratori. Proprio per questo motivo non inserirò nella ricerca i livelli di riferimento "normali", ma mi limiterò ad osservare le differenze quantitative dei minerali tra atleti e controlli, in considerazione che tutte le analisi in esame sono state ottenute con la stessa metodologia.

Uno studio ha cercato di determinare i livelli di riferimento per elementi di interesse tossicologico, clinico e ambientale nei capelli in soggetti di età inferiore ai 15 anni residenti in zone urbane (Senofonte O. et al. 1989). In questa ricerca si sono confrontati i dati degli esami provenienti da studi effettuati in stati diversi e per alcuni minerali si sono riscontrate importanti differenze.

Molto importante è stato verificare le conseguenze dei trattamenti sui capelli sulla concentrazione dei minerali. Una serie di trattamenti sono in grado di alterare la concentrazione degli elementi nei capelli, ed in parti-

colare decolorazione, permanente e tinta. Il minerale alterato dipende dal prodotto. Grecian Formula ad esempio contiene piombo. Altre tinte contengono ferro, nichel, manganese od altri elementi. I trattamenti maggiormente in grado di alterare l'esito dell'esame sono la decolorazione che riduce i livelli di zinco e rame e la permanente che può elevare calcio, magnesio, sodio, potassio ed abbassare lo zinco. Esami eseguiti su capelli che hanno subito questi trattamenti devono essere considerati non affidabili. Anche l'uso costante di shampoo medicati contenenti zinco o selenio (Selsun Blue) può alterare il risultato dell'analisi, sebbene in questo caso la contaminazione appare ben evidente. Alcuni studi hanno evidenziato variazioni dei minerali nei capelli in rapporto al colore dei capelli ed all'età delle persone (Aufreiter S. and Hancock R.G.V. 1990).

Lo zinco risulta più elevato nelle donne. Il rame risulta lievemente più alto nei capelli di colore nero negli uomini e biondo nelle donne, e basso in entrambi i sessi nei capelli bianchi. Nei maschi lo zinco appare più elevato nei capelli rossi e più basso nei capelli bianchi. Nelle donne livelli più alti di zinco si hanno nei capelli neri (Allegrì G et al. 1990). Le diverse ricerche in proposito comunque evidenziano differenze variabili e non marcate.

Variazioni si sono anche notate in rapporto all'età, ma ciò è capibile, ed alla stagione. Tali variazioni, sebbene non influiscano su studi comparati, vanno tenuti in considerazione nell'interpretazione dell'esame per il singolo individuo. Inoltre in generale tali variazioni non sono consistenti.

Il fatto che non siano state spesso trovate correlazioni tra esami eseguiti sul sangue ed esami eseguiti sui capelli, non deve sorprendere in quanto questi substrati riflettono differenti tempi di esposizione, inoltre i capelli danno dati prevalentemente intracellulari e di deposito.

Un altro problema importante è quel-

lo di stabilire se esistano correlazioni tra la concentrazione di minerali nei capelli e negli organi interni. Anche in questo caso i dati sono discordanti, in alcuni studi esiste una positiva correlazione con alcuni organi interni, in altri no (Zhuang G.S. et al 1990; Ingraio G. et al 1990; Yoshinaga J. et al. 1990).

Importanti modificazioni della concentrazione di alcuni minerali nei capelli sono state ritrovate in alcune patologie come tumori, epatopatie, diabete, ecc. Una correlazione tra bassi livelli nei capelli di selenio e presenza di tumori è stata verificata in diversi studi. Ad esempio in Grecia (Bratakos M.S. et al 1990) si sono riscontrati livelli significativamente più bassi di selenio nei capelli di soggetti con tumori ai polmoni o del sangue o al seno. In caso di tumori al seno livelli di selenio significativamente più bassi dei controlli erano presenti in capelli, urine e sangue; in caso di tumori dell'apparato respiratorio od ematopoietico, livelli più bassi dei controlli si verificavano solo nei capelli ma non in sangue ed urine. I capelli erano prelevati in caso di diagnosi recente di tumore. Nei capelli e nel sangue di persone affette da tumore si ritrovano bassi livelli di zinco, ed è stata ipotizzata l'utilità di una supplementazione con tale minerale vista la sua importanza per il sistema immunitario (Mei W. et al. 1991). Dati promettenti e statisticamente significativi sono stati ottenuti paragonando i livelli di elementi nei capelli con la composizione dei calcoli renali presenti nel paziente (Durak I. et al 1990). È anche stata dimostrata una correlazione tra livelli di metalli tossici nei capelli ed esposizione ambientale. Il livello di mercurio nei capelli è in relazione con l'assunzione di pesce da zone inquinate (Oskarsson A. et al. 1990).

Frequenti correlazioni sono state riscontrate tra alterazioni di alcuni minerali nei capelli e problemi mentali (Marlowe M. et al. 1984); Lester et al. 1982).

## MATERIALI E METODI

Sono stati analizzati i capelli di atleti di sesso maschile compresi tra 16 e 37 anni (media 24.1). Tali soggetti sono atleti con programmi di allenamento comprendenti almeno 4 sedute settimanali di due ore ciascuna (7 ciclisti ed un maratoneta). I dati del maratoneta non sono stati inseriti nel confronto statistico per avere il gruppo degli atleti il più omogeneo possibile, pur essendo tale attività paragonabile a quella dei ciclisti dal punto di vista metabolico. Gli atleti sono residenti in Trentino Alto Adige (6) o nel Veneto (2). I dati delle analisi sono stati confrontati con quelli scaturiti dalla stessa analisi sui capelli di 11 uomini paragonabili per età (dai 18 ai 35 anni, media 28.2), sesso, ambiente, con vita sedentaria o praticanti attività fisica saltuaria e leggera e senza apparenti malattie in corso.

Non sono stati inclusi nella ricerca nuotatori o comunque atleti che avessero fatto frequenti bagni in piscina negli ultimi 2 mesi prima del prelievo. Tale precauzione è stata presa in considerazione del fatto che in tali soggetti si assiste a livelli di rame più elevati della norma ed in quanto lavaggi frequenti (più di venti al mese) sembrano ridurre lievemente i livelli di sodio, potassio, magnesio, calcio (Wilson L.D. 1990).

Dallo studio sono stati esclusi anche i soggetti che avevano utilizzato nel periodo precedente shampoo contenenti selenio o zinco. Nessuno degli atleti o dei controlli aveva utilizzato nei mesi precedenti il prelievo, tinte, permanenti o decolorazione.

Non sono stati inseriti nella ricerca soggetti che avessero assunto integratori di minerali in modo continuativo nei mesi precedenti il prelievo.

Capelli lunghi sino a 3 centimetri sono stati tagliati dalla regione occipitale, il più vicino possibile al cuoio capelluto, utilizzando forbicine di acciaio inossidabile per evitare qualsiasi contaminazione. La quantità di capelli per prelievo è stata di circa 1 grammo.

I campioni sono stati spediti al laboratorio ARL in Phoenix, Arizona (8650 N. 22nd Ave. Phoenix, AZ 85021 (602) 995-1581).

I capelli non sono stati lavati. Tale accorgimento è stato preso in quanto il lavaggio, anche solo con acqua distillata, se protratto, modifica i livelli di alcuni minerali, ed in particolare di calcio, magnesio, sodio e potassio.

I capelli dei singoli campioni sono stati tagliati in piccoli pezzi e poi una quota di essi viene messa a digerire in acido nitrico e perclorico in soluzione 3:1 dopo aver lavato ogni contenitore in acido cloridrico al 10% prima dell'uso. Le provette sono quindi messe sotto una cappa per 30 minuti e vengono successivamente scaldate a 95 °C per 30 minuti e poi a 210° per tutta la notte.

A) Per la determinazione di Cu, Fe, Mn, Pb, Cd, Al, dopo la digestione i capelli vengono reidratati con soluzione di HCL, 6 ml allo 0,9%, ed agitati.

B) Per la determinazione dei macro elementi 0,8 ml della soluzione di cui al punto A, viene diluita portandola a 4 ml con una soluzione di cloruro di cesio allo 0,2% per ridurre l'effetto ionizzante della fiamma all'ossido nitroso.

C) Per la determinazione del fosforo a 0,4 ml della soluzione di cui al punto A viene aggiunto 1 ml di un reagente acido vanadiomolibdenofosforico e letta in uno spettrofotometro Gilford 300N.

D) Determinazione per il mercurio: 10 mg di capelli vengono disciolti in 0,3 ml di acido nitrico in una provetta 16x125 e portati a 10 ml con una soluzione allo 0,9% di HCL. Viene utilizzato il metodo a vapore freddo.

Tutte le misurazioni tranne per il fosforo sono state fatte con un Perkin-Elmer 5000 per assorbimento atomico.

Una piccola quota di capelli viene conservata per ritestarli in caso di rilievo di livelli fuori dalla norma. Ogni minerale dà origine ad uno spettro di frequenze luminose caratteristi-

co che viene captato dallo strumento di misura. Una calibrazione dello strumento ed un preciso controllo della temperatura sono fondamentali per ottenere risultati accurati.

Campioni di riferimento da fegato di bovino, nonché campioni di tutti gli acidi e reagenti ed un campione di capelli predeterminato sono utilizzati come controlli alla fine di ogni batteria di tests.

I minerali ricercati sono:

- *macrominerali od elettroliti*: calcio, magnesio, sodio, potassio e fosforo;
- *elementi traccia*: rame, zinco, manganese, cromo, ferro, selenio;
- *metalli tossici*: piombo, mercurio, cadmio, alluminio e nichel.

In questo test i livelli sono misurati in milligrammi per 100 grammi (mg%).

I valori di riferimento derivano da un gran numero di tests eseguiti su individui sani. Tali valori sono comunque spesso differenti da laboratorio a laboratorio, ed inoltre vanno considerati soprattutto i rapporti in considerazione del fatto che esistono minerali antagonisti e sinergici.

In questo studio non sono stati considerati per questo motivo i valori ottimali di riferimento. In considerazione del fatto che tutti gli esami sono stati eseguiti con lo stesso metodo si è cercato di mettere in evidenza le differenze dei livelli di minerali tra atleti e soggetti sedentari in buona salute.

### - Statistica

L'elaborazione statistica è stata effettuata utilizzando un programma computerizzato, l'SPSS (Statistical Package for the Social Science). I dati ottenuti sui due gruppi (media, range, deviazione standard, ecc.) sono stati confrontati con il test di Student per evidenziarne la significatività statistica ( $p < 0,05$ ).

## RISULTATI E DISCUSSIONE

In tabella 1 sono riportati i livelli di minerali nei capelli degli atleti ai quali sono stati aggiunti quattro rap-

porti (calcio/potassio, sodio/magnesio, sodio/potassio, calcio/fosforo). In tabella 2 sono riportati gli stessi dati per quanto riguarda i controlli. Nelle tabelle 3 e 4 sono invece riportati i dati statistici più significativi (media, deviazione standard, range, valore di p ottenuto con test di Student).

Rispetto ai controlli gli atleti presentano, nei capelli, valori più elevati di *sodio, potassio, rame, manganese, selenio*, e valori più bassi di *calcio, magnesio, ferro, zinco, cromo, fosforo, cadmio, alluminio, nichel*. I livelli di *mercurio e piombo* sono praticamente identici nei due gruppi.

Per quanto riguarda i rapporti gli atleti presentano rispetto ai controlli valori nettamente più elevati nei rapporti *sodio/magnesio* e *sodio/potassio* e valori lievemente più bassi per quanto riguarda i livelli *calcio/potassio* e *calcio/fosforo*.

Dall'analisi statistica risultavano significativi ( $p < 0,05$ ) dati relativi a *magnesio, potassio, rame, nichel*. Un discorso a parte meritano il *cromo*, nettamente più basso negli atleti, e il *sodio* ed i rapporti *calcio/potassio* e *sodio/magnesio*, le cui differenze tra i due gruppi sarebbero molto più vicine alla significatività statistica se non si utilizzassero i capelli dell'atleta n. 5, che si discostano nettamente dai livelli degli altri atleti essendo simili a quelli dei controlli.

Nella statistica non è stato inserito il maratoneta che comunque presenta i valori medi elevati, che tenderebbero ad aumentare significativamente i livelli di sodio, potassio e dei rapporti sodio/magnesio, sodio/potassio e ad abbassare il rapporto calcio/potassio. I livelli alterati nei capelli degli atleti possono essere giustificati in diversi modi:

- 1) tale minerale si ritrova durante l'attività sportiva ed anche dopo più elevato nel sangue e nelle cellule (sodio);
- 2) si crea uno squilibrio tra minerale all'interno ed all'esterno della cellula, come potrebbe essere ad esempio il

caso del potassio, come conseguenza di una maggiore attività della pompa sodio/potassio conseguente ad una maggiore attività degli ormoni tiroidei negli atleti (Irvine CHG 1968; Terjung e Winder 1975);

3) variazioni ormonali potrebbero alterare i livelli dei minerali rispetto ai controlli, come nel caso precedente o come conseguenza di un incremento dell'attività di gluco e mineralcorticoidi. Ciò spiegherebbe il maggior livello di sodio nei capelli degli atleti ed anche il maggiore rapporto sodio/potassio;

4) carenze di minerali potrebbero essere la conseguenza di ridotta assunzione, maggiore consumo o perdita degli stessi. Questo è probabile per cromo, zinco, calcio, magnesio in particolare;

5) un minerale in eccesso può evidenziare una alterata biodisponibilità, cioè una ridotta utilizzazione con conseguente accumulo in tessuti diversi da quelli di normale utilizzazione;

6) Livelli alterati di minerali potrebbero dipendere da una alterata distribuzione del minerale nei tessuti (vedi ferro negli atleti).

I dati sono a tutt'oggi di difficile interpretazione, non utilizzabili come unico dato per una eventuale supplementazione, ma sicuramente importanti per conoscere in modo più approfondito il soggetto. Tali dati forniscono dati supplementari ad altre indagini come testosterone, cortisolo, ferritina ed altri esami ematici e test per la valutazione della capacità aerobica dell'atleta. Rimane comunque sempre valido il concetto secondo il quale sono fondamentali le conoscenze sul tipo di vita dell'atleta, abitudini alimentari, livello di stress, tipo di allenamento e le conoscenze sul metabolismo dei singoli minerali e vitamine, nonché e soprattutto sulle interrelazioni tra essi prima di attuare una eventuale supplementazione.

Un dato interessante consiste nel fatto che facendo tale esame sui capelli in diversi periodi della stagione spor-

tiva dell'atleta, le maggiori variazioni si hanno su minerali come sodio e potassio, quelli che forse più di altri potrebbero trovare una spiegazione su base ormonale.

Gli altri presentano variabilità minori ma tali aspetti richiedono studi più accurati e su un maggior numero di soggetti.

Da tenere in considerazione che gli esperti su tale esame e i nutrizionisti attribuiscono al rapporto sodio/magnesio e sodio/potassio importanza come indicatori della funzionalità surrenale, ed al rapporto calcio/potassio come indicatore della funzionalità tiroidea. Nel primo caso la funzionalità del surrene è maggiore tanto più elevato è il dato, nel secondo quanto più basso è il risultato (Wilson L.D. 1991). In particolare un aumento del rapporto sodio/potassio indicherebbe una fase di allarme come conseguenza di stress fisico o psichico. Di conseguenza dai livelli di minerali nei capelli si può dire che l'attività degli ormoni corticosurrenali e tiroidei è aumentata negli sportivi. Tale dato coincide con quelli di altri studi effettuati sul sangue. Sarebbe quindi interessante vedere se tale metodo permette di vedere se prevale la situazione anabolica o catabolica e la sua eventuale importanza nell'atleta per poter modificare allenamento ed integrazione.

Rimane ancora da stabilire se i livelli dei minerali nei capelli possono essere utilizzati in toto o se i capelli risultino validi solo per alcuni, come ad esempio magnesio, cromo, selenio, zinco, metalli tossici mentre per altri convenga effettuare altre analisi (es. ferro e ferritinemia).

Va comunque sempre tenuto presente che i capelli danno dati diversi dagli altri substrati organici utilizzati sino ad oggi per ricerche analitiche sui minerali. Di conseguenza studi che ne permettano una migliore comprensione potrebbero portare ad una migliore conoscenza dell'atleta e probabilmente ad un miglior rendimento atletico.

Tabella 1  
 Concentrazione dei minerali nei capelli degli atleti (7 casi).  
 Valori espressi in mg%

	GRUPPO ATLETI						
	N. 1	N. 2	N. 3	N. 4	N. 5	N. 6	N. 7
Ca	28	23	41	46	58	66	44
Mg	2	3	2	3	4	4	4
Na	74	15	37	35	2	10	26
K	12	14	20	13	1	3	14
Fe	0,7	0,4	1	0,6	0,6	0,6	1
Cu	1,3	1,1	1,1	0,9	1,2	0,8	1
Mn	0,03	0,01	0,09	0,01	0,01	0,03	0,02
Zn	18	13	13	15	17	23	16
Cr	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04
Se	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
P	14	13	12	17	13	14	14
Pb	0,6	0,3	0,52	0,2	0,1	0,16	0,4
Hg	0,04	0,04	0,15	0,23	0,1	0,13	0,18
Cd	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04
Al	0,3	1,5	1,8	0,7	0,5	0,1	0,8
Ni	0,06	0,05	0,18	0,01	0,01	0,11	0,1
Ca/K	2,33	1,64	2,05	3,53	58	22	3,1
Na/Mg	37	5	18,5	11,66	0,5	2,5	6,5
Na/K	6,17	1,07	1,85	2,69	2	3,3	1,9
Ca/P	2	1,76	3,41	2,7	4,46	4,71	3,1

**Tabella 2**

Concentrazione dei minerali nei capelli degli atleti (11 casi).

Valori espressi in mg%

	GRUPPO ATLETI										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
Ca	33	23	69	47	43	75	66	38	47	94	35
Mg	4	3	8	5	4	10	3	3	5	7	5
Na	9	6	6	3	6	24	3	9	11	7	3
K	4	5	3	3	4	5	2	6	8	4	3
Fe	0,5	1	0,8	0,7	0,8	1	0,9	1,3	0,6	0,8	0,8
Cu	0,5	0,7	1	0,8	0,8	1	1,2	1	0,9	0,7	0,8
Mn	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03
Zn	17	16	21	16	19	17	17	14	17	18	20
Cr	0,02	0,16	0,05	0,05	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,08
Se	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,04	0,04	0,01	0,03
P	16	18	14	14	14	17	12	14	12	14	15
Pb	0,19	0,2	0,42	0,32	0,19	0,35	0,7	0,38	0,27	0,2	0,39
Hg	0,02	0,07	0,36	0,09	0,02	0,08	0,08	0,16	0,06	0,07	0,36
Cd	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
Al	1,4	1	1,3	1	1,6	0,8	0,8	1,9	0,5	0,4	1,3
Ni	0,1	0,14	0,22	0,10	0,20	0,23	0,20	0,21	0,07	0,08	0,17
Ca/K	8,25	4,6	23	15,6	10,75	15	33	6,33	5,87	23,5	11,66
Na/Mg	2,25	2	0,75	0,6	1,5	2,4	1	3	2,2	1	0,6
Na/K	2,25	1,2	2	1	1,5	4,8	1,5	1,5	1,37	1,75	1
Ca/P	2,06	1,27	4,92	3,35	3,07	4,41	5,5	2,71	3,91	6,71	2,33

Tabella 3  
 Confronti tra i dati dei 2 gruppi con ricerca di significatività statistica utilizzando il test di Student ( $P < 0,5$ ).  
 Valori espressi in mg%

	GRUPPO	MEDIA	DEV. STANDARD	RANGE	VALORE DI P
CALCIO	Atleti	43,71	15,21	23-66	0,363
	Controlli	51,81	21,43	23-94	
MAGNESIO	Atleti	3,14	0,90	2-4	0,018
	Controlli	5,18	2,27	3-10	
SODIO	Atleti	28,42	23,86	2-74	0,064
	Controlli	7,9	5,95	3-24	
POTASSIO	Atleti	11	6,68	1-20	0,037
	Controlli	4,27	1,679	2-8	
FERRO	Atleti	0,70	0,22	0,4-1	0,224
	Controlli	0,83	0,21	0,5-1,3	
RAME	Atleti	1,05	0,17	0,8-1,3	0,035
	Controlli	0,85	0,19	0,5-1,2	
MANGANESE	Atleti	0,029	0,29	0,01-0,09	0,570
	Controlli	0,022	0,012	0,01-0,04	
ZINCO	Atleti	16,42	3,45	13-23	0,494
	Controlli	17,45	1,96	14-21	
CROMO	Atleti	0,017	0,013	0,01-0,04	0,086
	Controlli	0,044	0,044	0,01-0,16	
SELENIO	Atleti	0,037	0,008	0,03-0,05	0,329
	Controlli	0,033	0,011	0,01-0,05	
FOSFORO	Atleti	13,85	1,57	12-17	0,414
	Controlli	14,54	1,86	12-18	

**Tabella 4**

 Confronti tra i dati dei 2 gruppi con ricerca di significatività statistica utilizzando il test di Student ( $P < 0,5$ ).

Metalli tossici e rapporti.

Valori espressi in mg%

	GRUPPO	MEDIA	DEV. STANDARD	RANGE	VALORE DI P
PIOMBO	Atleti	0,326	0,189	0,1-0,6	0,956
	Controlli	0,321	0,160	0,12-0,7	
MERCURIO	Atleti	0,124	0,070	0,04-0,23	0,996
	Controlli	0,125	0,122	0,02-0,36	
CADMIO	Atleti	0,023	0,014	0,01-0,04	0,576
	Controlli	0,026	0,010	0,01-0,04	
ALLUMINIO	Atleti	0,814	0,623	0,1-1,8	0,335
	Controlli	1,091	0,459	0,4-1,9	
NICHEL	Atleti	0,074	0,061	0,01-0,18	0,015
	Controlli	0,156	0,060	0,07-0,23	
Ca/K	Atleti	13,236	21,04	1,64-58	0,900
	Controlli	14,324	8,92	4,,6-33	
Na/Mq	Atleti	11,66	12,70	0,5-37	0,080
	Controlli	1,57	0,836	06-3	
Na/K	Atleti	2,71	1,679	1,07-6,17	0,235
	Controlli	1,806	1,065	1-4,8	
Ca/P	Atleti	3,163	1,131	1,76-4,71	0,457
	Controlli	3,658	1,621	1,27-6,71	

## BIBLIOGRAFIA

- ABRAHAM G.E., LUBRAN M.D.: *Serum and red cell magnesium levels in patients with premenstrual tension*. Am J Clin Nutr. 1981; 34:1264-66.
- AHARONI A., BETSALEL T., YOAV PALTIELI, JOSEPH TAL, ZVI DORI, MORDECHAI SHARF: *Hair Chromium content of women with gestational diabetes compared with nondiabetic pregnant women*. Am J Clin Nutr. 1992, 55:104-7.
- ALLEGRI G., COSTA C., BIASIOLO M., ARBAN R., BERTAZZO A., CARDIN DE STEFANI E.L.: *Tryptophan, copper and zinc in hair of healthy subjects. Correlation with differences in hair pigmentation*. Ital. J Biochem. 1990 Jul Aug; 39(4):209-15.
- AUFREITER S. AND HANCOCK RGV.: *Pigmentation and temporal effects on trace elements in hair*. Biol Trace Elem Res 1990 Jul-Dec 26-27; 721-8.
- BALES C.W., FREELAND-GRAVES J.H., ASKEY S., BEHMARDI F., POBOCIK R., FICKEL J.J., GREENLEE P.: *Zinc, magnesium, copper and protein concentration in Human saliva: age and sex-related differences*. Am J Clin Nutr. 1990; 51:462-9.
- BARRET S.: *Commercial hair analysis*. JAMA, Aug 23/30, 1985; vol. 254, No 8:1041-1045.
- BERGOMI M., BORELLA P., FANTUZZI G.: *Sangue, denti e capelli: tre diverse matrici utilizzate per valutare l'esposizione al piombo ed al cadmio in bambini residenti in zona industriale*. 1989 Sep-Oct; 1 (5):1185-96.
- BRAKATOS M.S., VOUTERAKOS T.P., IOANNOU P.V.: *Selenium status of cancer patients in Greece*. 1990 Mar; 92:207-22.
- COMI D.: *I deficit nutrizionali marginali*. Stampa Medica 1990; 486 (5), 1-15 marzo:51-5.
- COX I.M., CAMPBELL M.J., DOWSON D.: *Red blood cell magnesium and chronic fatigue syndrome*. The Lancet 1991; 337: March 30, 757-760.
- CZARNOWSKI W., KRECHNIAK.: *Fluoride in the urine, hair and nails of phosphate fertiliser workers*. Br. J. Ind. Med. 1990; 47:349-51.
- DURAK I., KILIC Z., PERK H., SAHIN A., YURTARSLANI Z., YASAR A., KUPPELI S.: *Iron, Copper, Cadmium, Zinc, and Magnesium contents of urinary tract stones and hair from men with stone disease*. 1990 Eur Urol; 17:243-47.
- FREELAND-GRAVES J.H., HENDRICKSON P.J., EBANGIT M.L. SNOWDEN JY.: *Salivary zinc as an index of zinc status in women fed a low zinc diet*. Am J Clin Nutr. 1981; 43:312-21.
- FREUND H., ATAMIAN S., FISCHER J.E.: *Chromium deficiency during total parenteral nutrition*. JAMA 1979; 241:496-98.
- GRANT CG, HOWARD JM., DAVIES S., CHASTY H., HORNSBY B., GALBRAITH J.: *Deficienza di zinco nei bambini affetti da dislessia: concentrazioni di zinco e altri minerali nel sudore e nei capelli*. Brit. Med. J. 1988; 9:58-61.
- GREGER J.L., SICKLES V.S.: *Saliva zinc levels: potential indicators of zinc status*. Am J Clin Nutr. 1979, 32:1859-66.
- HAMBIDGE K.M.: *Hair analysis: worthless for vitamins, limited for minerals*. Am J Clin Nutr. 1982; 36-943-49.
- INGRAO G., BELLONI P., DI PIETRO S., SANTARONI G.P.: *Levels of some trace elements in selected autopsy organs, and in hair and blood samples from adult subjects of the italian population*. Biol Trace Elem Res 1990 Jul-dec; 26-27:699-708.
- IRVINE C.H.G.: *Effect of exercise on thyroxine degradation in athletes*. J. Clin Endocrinol 1968; 28:942-948.
- JEEJEEBHOY K.N., CHU R.C., MARLISS E.B., GREENBERG G.R., BRUCE ROBERTSON A.: *Chromium deficiency, glucose intolerance, and neuropathy reversed by chromium supplementation in a patient receiving long term total parenteral nutrition*. Am J Clin Nutr. 1977; 30:531-8.
- KLEVAY L.M., BISTRIAN BR, FLEMING C.R., NEUMANN C.G.: *Hair analysis in clinical and experimental medicine*. Am J Clin Nutr. 1987; 46:233-6.
- LAKER M.: *On determining trace element levels in man: The uses of blood and hair*. Lancet 1982; 2:260-2.
- LUKASKI H.C., BOLONCHUK WW, KLEVAY L.M., MILNE D.B., SANDSTEAD HH.: *Maximal oxygen consumption ad related to magnesium, copper, and zinc nutriture*. Am J Clin Nutr march 1983; 37:407-415.
- LESTER M.L., THATCHER R.W, MONROE-LORD L.: *Refined carbohydrate intake, hair cadmium levels and cognitive functioning in children*. Nutrition and Behavior 1982; 1:3-13.
- MAGNUSSON B., HALLBERG L., ROSANDER L., SWOLIN B.: *Iron metabolism and "sport anemia". II A hematological comparison of elite runners and control subjects*. Acta Med Scan 1984; 216:157-164.
- MARLOWE M., COSSAIRT A., WELCH K.,ERRERA J.: *Hair mineral content as a predictor of learning disabilities*. Journal of Learning Disabilities 1984; vol. 17, n. 7:418-21.
- MEADOWS N.J., SMITH M.F., KEELING W.N. RUSE W. DAY J., SCOOPES J.W., THOMPSON R.P.H.: *ZINC AND SMALL BABIES*. LANCET 1981; ii: 1135-7.
- MEADOWS N.J., RUSE W., KEELIN PWN, SCOPE J.W., THOMPSON R.P.H.: *Peripheral blood leucocyte zinc depletion in babies with intrauterine growth retardation*. Arch Dis Child 1983; 58:807-9.
- MEI W., DONG Z.M., LIAO B.L., XU H.B.: *Study of immune function of cancer patients influenced by supplemental zinc or selenium zinc combination*. Biol Trace Elem Res 1991 Jan; 28(1).11-19.
- MESSINA B., NOCCHI S.: *Gli oligoelementi in nutrizione umana*. Clin Dietol 1986; 13:327-50.
- MOLININI R.: *Intossicazione non professionale da piombo*. Federazione Medica 1989 Jul; L: 445-7.
- NEDLEMAN H.L., GUNNOE C., LEVITON A., REED R., PERESIE H., MAHER C., BARRET P.: *Deficits in psychological and classroom performance of children with elevate dentine lead levels*. New Eng J Med 1979; 300:689-95.
- OSKARSSON A., OHLIN B., OHLANDER

- E.M., ALBANUS L.: *Mercury levels in hair from people eating large quantities of Swedish freshwater fish*. 1990 Jul-Aug; 7 (4):555-62.
- PAOLISSO G., D'ONOFRIO F.: *Magnesi, ipertensione e diabete mellito*. Federazione Medica 1989; XLII 3:187-191.
- PHELPS R.W., CLARKSON T.W., KERSHAW T.G., WHWALTY B.: *Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury*. Archives of Environmental Health 1980; vol 35, n 3:161-167.
- RESINA A., GATTESCHI L., GIAMBERARDINO M.A., RUBENNI M.G., TRABASSI E., IMREH F.: *Comparison of RBC indices and serum iron parameters in trained runners and control subjects*. Haematologica 1988; 73:499-54.
- RESINA A., GATTESCHI L., GUERRINI A., RUBENNI M.: *Ricambio elettrolitico e minerale: aspetti fisiopatologici*. In "Trattato di medicina dello sport applicata al calcio 1990". Centro Documentazione Scientifica Menarini.
- RIMLAND B. AND LARSON G.E.: *Hair mineral analysis and behavior: an analysis of the literature*. Journal of Learning Disabilities 1983; 16:279-85.
- SENOFONTE O., VIOLANTE N., FORNARELLI L., BECALONI E., POWAR A., CAROLI S.: *Reference values for elements of toxicological, clinical and environmental interest in hair of urban subjects*. Ann 1st Super Sanità 1989; Vol 25, n 3:385-92.
- SMITH H., FORSHUFVUD S., WASSEN A.: *Distribution of Arsenic in Napoleon's hair*. Nature 1962; 194:725-56.
- TERJUNG R.L., WINDER W.W.: *Exercise and Thyroid function*. Med. Sci. Sport 1975; 7:20-26.
- TRUSWELL A.S.: *Nutrizione 2*. Brit Med J ed. italiana novembre 1987; n. 32.
- TURCHETTO E.: *Scienza dell'alimentazione*. 1989 Esculapio.
- UHARI M., PAKARINEN A., HIETALA J., NURMI T., KOUVALAINEN K.: *Serum iron, copper, zinc, ferritin and ceruloplasmin after intense heat exposure*. Eur J Appl Physiol 1983; 51:331-5.
- WELLS L., JAMES D.K., LUXTON R., PENNOCK C.A.: *Deficienza materna di zinco leucocitario all'inizio del terzo trimestre come fattore predittivo del ritardo di crescita fetale*. Brit Med J Ed italiana 1988; 8:29-34.
- WILHELM M., OHNESORGE F.K., HOLTZEL D.: *Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in human scalp and pubic hair*. Sci Total Environ 1990 mar. 92:199-206.
- WILHELM M., HAFNER D., LOMBECK I., OHNESORGE F.K.: *Monitoring of cadmium, copper, lead and zinc status in young children using tonails: comparison with scalp hair*. Sci Total Environ. 1991; Apr 15; 103 (2-3):199-207.
- WILSON L.D.: *Nutritional balancing and hair mineral analysis*.
- YOSHINAGA J., HIDEKI I., NAKAZAWA M., SUZUKI T., MORITA M.: *Lack of significantly positive correlations between elemental concentrations in hair and in organs*. Sci Total Environ 1990 Dec; 99 (1-2): 125-135.
- ZHUANG G.S., WANG Y.S., TAN M.G., ZHI M., PAN W.Q., CHENG Y.D.: *Preliminary study of the distribution of the toxic elements As, Cd, and Hg in human hair and tissues by RNAA*. Biol Trace Elem Res 1990 Jul-Dec; 26-27:729-36.
- ZIEMACKI G., VIVIANO G., MERLI F.: *Heavy metals: sources and environmental presence*. Ann 1st Super Sanità 1989; vol 25, n 3:532-536.

Indirizzo dell'Autore:  
Dott. Fabio Diana  
Piazzetta Anfiteatro, 4  
38100 Trento