

Giacomo Schillaci¹, Marco Ivaldi²

¹ Università di Pisa, Dipartimento di Ricerca Traslazionale e delle Nuove tecnologie in Medicina e Chirurgia, Pisa; Università di Verona, Facoltà di Scienze Motorie, Verona; F.C. Pro Vercelli 1892

² Dipartimento di Scienze Mediche, Gruppo Funzione neuromuscolare, S.U.I.S.M., Università di Torino

Allenamento giovanile Tra stereotipo e realtà

L'approfondimento nasce dalla piena consapevolezza che un *integration paradigm* tra ricerca e pratica, proposto da Haag, sia indispensabile per guidare la teoria dell'allenamento. Se questo principio può essere considerato valido per la ricerca applicata alle scienze motorie e sportive con individui adulti, ancor di più dovrà esserlo per quanto riguarda il periodo dello sviluppo giovanile. L'allenabilità durante il periodo della *childhood* (femmine: < 11 anni; maschi: < 13 anni – 1-2 Tanner Stages) e *adolescence* (femmine: 12-18 anni; maschi 14-18 anni – 3-4 Tanner Stage) ^a è infatti da sempre argomento di particolare interesse per quanto riguarda il campo delle scienze motorie.

Il tema maggiormente dibattuto, e sicuramente il più affascinante, è il cosiddetto periodo del *trigger hypothesis* o *windows of opportunity* descritto da Ford et al. come un "critical/sensitive periods for accelerate development of motor performance based on a suitable training stimulus during appropriate maturational time period". Tali periodi, se esistenti, sembrerebbero tuttavia essere soggetti a numerose variabili fisiologiche e antropometriche, al livello di allenamento e alla modalità di valutazione oltre che al livello di maturità biologica del soggetto, piuttosto che alla sola età cronologica.

Il limite dell'età cronologica nella valutazione di un soggetto durante il periodo dello sviluppo fu proposto la prima volta nel 1908 da Crampton e ripreso da Rotch nel 1909, i quali sottolinearono la necessità di utilizzare parametri differenti, in grado di determinare, rispettivamente, la *physiological age* e *anatomical age*. Concetto più volte ripreso anche nella letteratura successiva.

La conoscenza attuale è infatti tutt'altro che univoca nel valutare l'efficacia dell'allenamento sulle maggiori qualità fisiche durante il periodo della *childhood* e *adolescence*, individuando nel livello di maturità biologica ^b dei soggetti, e dei parametri ad esso correlati, il maggior responsabile. Appare quindi indispensabile essere in grado di stimare il livello di maturazione dei soggetti durante il periodo giovanile. In letteratura il livello di maturità è stato spesso indicato in relazione al periodo della pubertà (*puberty*).

Cosa s'intende per pubertà?

Rogol et al. la definiscono come "... a dynamic period of development marked by rapid change in body size, shape, and composition, all of which are sexually dimorphic. It is characterized by the greatest sexual differentiation since fetal life and the most rapid rate of linear growth since infancy." Tale periodo risulterebbe inoltre essere caratterizzato da una spiccata *variabilità interindividuale*, dovuta all'etnia di appartenenza (generalmente anticipata in soggetti afro-americani) e a stimoli ambientali (ad es. nutrizione), oltre che da una spiccata *variabilità intraindividuale*, sia per quanto riguarda *tempismi* (timing) e *ritmi* (tempo) in termini di crescita (*growth*) ^c e maturazione (*maturation*) ^d. Tale variabilità prende il nome di *Time-spreading effect* (Tanner, 1962).

Riguardo all'influenza degli stimoli provenienti dall'ambiente circostante, è bene sottolineare che tali stimoli non sembrerebbero essere in grado di alterare il potenziale genetico del soggetto, sia in termini di altezza da

^a La suddivisione delle fasi dello sviluppo dell'essere umano non sono tuttavia integralmente condivise da tutta la comunità scientifica. L'*American College of Sports Medicine* (ACSM), (ACSM, 2010), in maniera più generale, identifica il periodo della *childhood* con il periodo fino alla pubertà, mentre l'*adolescence* nei 6 anni successivi al termine della pubertà. Risulterà quindi indispensabile definire e comprendere bene il concetto di pubertà e le sue caratteristiche.

^b Stadio dei processi biologici in riferimento al loro completamento in età adulta (Rogol et al., 2002).

^c Cambiamenti misurabili in termini di dimensione (ad es. statura, massa corporea, altezza da seduto, ecc.) e composizione corporea (ad es. massa grassa, massa muscolare, ecc.) e altri vari sistemi corporei (Beunen e Malina, 2008).

^d Processi riferiti al raggiungimento dello stato adulto (*adult state*) caratterizzati da tempismi e durate differenti (Beunen e Malina, 2008).

adulto (adult height), sia di caratteristiche somatiche predominanti (shape). A testimonianza di ciò, negli ultimi 100 anni, vi è stato un significativo aumento di statura (circa 1-2 cm ogni decade), oltre a un'anticipata maturazione in termini sia di età scheletrica (skeletal age) sia di caratteri sessuali secondari (pubic hair), solo in bambini di paesi industrializzati. La modificazione del timing di maturazione non è stato tuttavia accompagnato da un altrettanto significativo aumento di statura in individui adulti.

Attraverso una breve, ma efficace, revisione della letteratura Baxter-Jones et al. hanno analizzato i parametri attualmente riconosciuti come validi indicatori dello stadio puberale del soggetto, sottolineando l'importanza della stima dell'età scheletrica (Skeletal Age), dell'età di picco di crescita (Age at Peak Height Velocity), dell'altezza attuale espressa in termini di percentuale dell'altezza da adulto e delle caratteristiche sessuali secondarie (Secondary Sex Characteristics) per meglio comprendere le variazioni di prestazioni motorie durante il periodo che precede il completamento della maturazione biologica del soggetto. Gli autori concludono tuttavia che tali indicatori risulterebbero non intercambiabili, in quanto stime di differenti aspetti caratterizzanti il periodo della pubertà, confermando, inoltre nuovamente, la loro peculiarità di essere *soggetto-dipendenti*.

In individui maschi si ritiene che la pubertà abbia inizio, mediamente, all'età di 12 anni per poi raggiungere l'età di picco di crescita attorno ai 14 anni di età. Per individui di genere femminile tali periodi risultano anticipati

mediamente di circa 2 anni (Tanner, 1962 in Beunen e Malina, 2008).

Come varia la prestazione fisica durante periodo della pubertà?

Attraverso un'attenta analisi della letteratura disponibile sono state approfondite le attuali conoscenze in materia, con particolare interesse per quanto riguarda le qualità fisiche ritenute determinanti in numerosi sport giovanili, ossia *potenza degli arti inferiori* e *capacità aerobica*, trovate in letteratura rispettivamente con il termine *lower limb power* e *aerobic fitness*.

Prima di addentrarci nella descrizione della variazione delle componenti "condizionali" della prestazione, si ritiene necessario sottolineare che i 6 mesi precedenti il PHV siano molto spesso caratterizzati dalla cosiddetta *Adolescent Awkwardness*, ossia un periodo contraddistinto da un temporaneo sensibile peggioramento della coordinazione motoria (motor coordination) in differenti compiti motori. Tale periodo si ipotizza possa essere dovuto a un "brusco" aumento della statura e, in particolar modo, dalla differenza di *timing* di crescita tra lunghezza del busto e lunghezza degli arti inferiori (Fig. 1).

Capacità aerobica

Sebbene il massimo consumo di ossigeno ($VO_2\max$) in forma assoluta (l/min) cresca linearmente in relazione all'età cronologica dell'individuo, durante il periodo dello sviluppo esso risulta essere altamente correlato con

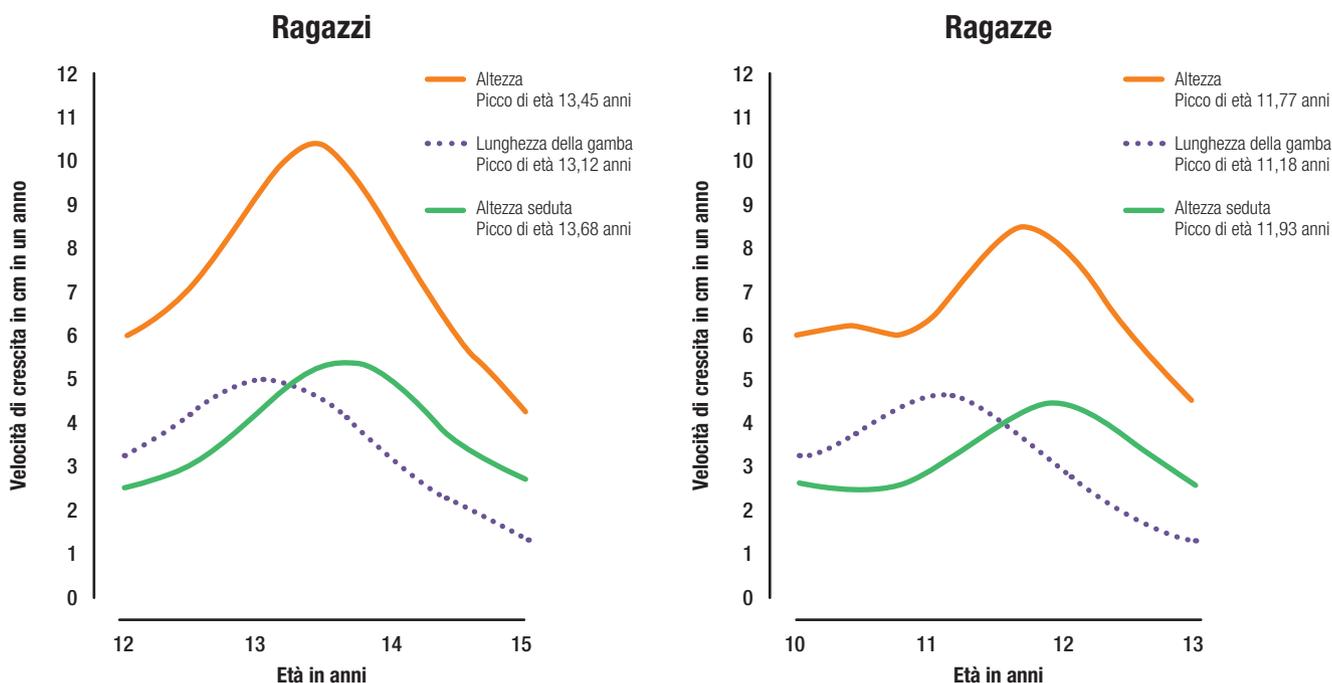


Figura 1. Timing di PHV e relativo picco di crescita di arti inferiori e busto (Mirwald et al., 2002).

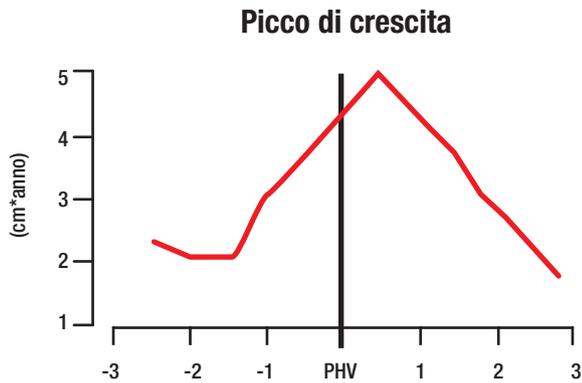


Figura 2. Relazione tra PHV e incrementi di prestazione annuale di salto verticale con contro movimento (CMJ) (Philippaerts et al., 2006).

le variazioni antropometriche (massa corporea e statura) e quindi, in maniera indiretta, anche del livello di maturità del soggetto (Armstrong & Welsman, 1994 in Ford et al., 2011). A maturità terminata (Tanner Stage = 5) aumenta invece l'influenza negativa della quantità di massa grassa del soggetto. Miglioramenti del massimo consumo di ossigeno in forma assoluta dell'80 e 150% sono stati riscontrati nel periodo tra 8 e 18 anni di età, rispettivamente in individui di genere femminile e maschile. Tali considerazioni non sembrerebbero tuttavia valide quando il $VO_2\max$ viene espresso in relazione al peso corporeo (ml/kg/min), il quale sembrerebbe mantenersi costante durante il periodo della *childhood*, per poi decresce durante l'*adolescence*. Quando le dimensioni corporee (size) vengono utilizzate come variabili per la stima del $VO_2\max$, la massa corporea del soggetto durante il periodo della pubertà assume un coefficiente di $k = 0,67$, dimostrando il suo particolare ruolo (Armstrong & Welsman, 1994 in Ford et al., 2011).

Il *peak height velocity* (PHV) è stato spesso individuato essere un parametro strettamente correlato con l'aumento del $VO_2\max$, bensì con risultati spesso contraddittori. Beunen e Malina sostengono in conclusione che aumenti del $VO_2\max$ (in forma assoluta) siano apprezzabili già a partire da alcuni anni prima del PHV, per poi continuare a crescere anche diversi anni dopo il momento di PHV.

Potenza arti inferiori

Data la relativa scarsità di dati riguardo la variazione in prestazioni di potenza riferite agli arti inferiori associati al livello di maturità del soggetto, la ricerca è stata ampliata anche al campo della capacità di forza (strength). Sebbene sia sostanzialmente riconosciuta la relazione positiva esistente tra livello di maturità e qualità neuromuscolari del soggetto, attualmente, non esiste un'o-

pinione condivisa riguardo a quali parametri fisiologici risulterebbero essere determinanti in tali adattamenti. Sono stati infatti documentati incrementi della capacità di forza in soggetti non allenati, durante il periodo della *childhood* e *adolescence*, che vanno dal 5,3 all'87%; confermando l'intervento di molteplici variabili.

Entrando invece nello specifico, il livello di potenza degli arti inferiori durante il periodo della *childhood* e *adolescence* è stato spesso messo in relazione con variabili antropometriche, data la sua imprescindibile sensibilità riguardo ai momenti di forza in termini sia di lunghezza del braccio di leva (statura e lunghezza arti) sia di grandezza del vettore forza (massa corporea). Miglioramenti sono stati individuati a partire da 1,5 anni prima del PHV con picchi a 0,5-1,0 anni dopo il PHV (Fig. 2), oltre che in relazione positiva con la lunghezza degli arti inferiori (leg length) e della massa muscolare (muscle mass) del soggetto (Butterfield et., al, 2004).

È bene tuttavia precisare che, nonostante siano state analizzate in un unico paragrafo, forza (strength) e potenza (power) non risultano essere espressione precisa delle stesse variabili, prima fra tutti la velocità di esecuzione del gesto. Le considerazioni fatte in precedenza andrebbero quindi analizzate con attenzione, senza commettere l'errore di considerarle completamente intercambiabili.

Può il processo di allenamento influenzare la prestazione sportiva durante il periodo della pubertà?

Si ritiene necessario, innanzitutto, definire in maniera chiara il termine allenamento (training). Beunen & Malina definiscono l'allenamento come "... *systematic, specialized practice for a specific sport or sport discipline for most of the year or to specific short-term experimental programs. [...] Training programs are ordinarily specific (e.g., endurance running, strength training, sport skill training) and vary in intensity and duration*", differenziandolo dall'attività fisica non indirizzata a uno specifico obiettivo (physical activity).

Per rispondere a tale quesito risulta indispensabile paragonare i miglioramenti ottenuti in soggetti sottoposti a un periodo di allenamento sistematico con soggetti non sottoposti ad allenamento e aventi lo stesso livello di maturità biologica. A tale scopo sono stati analizzati primariamente revisioni della letteratura in cui sono stati considerati e paragonati esclusivamente studi con gruppo di controllo.

Capacità aerobica

Studi longitudinali differenti hanno documentato picchi di miglioramenti di $VO_2\max$ sia coincidenti con il PHV (Rowland, 1985 in Ford et al., 2011) sia solamente in periodi immediatamente prima e dopo il PHV dei soggetti (Weber et al., 1976 in Ford et al., 2011), in soggetti sottoposti ad allenamento. Risultati quindi sostanzialmente simili a quelli ottenuti in individui non allenati visti precedentemente.

Attraverso due recenti revisione della letteratura, aventi come scopo quello di valutare l'efficacia dell'allenamento in soggetti pre/mid-puberi in termini di miglioramenti di $VO_2\text{max}$, Baquet et al. e Armstrong e Barker, concludono che sia possibile migliorare il livello di fitness aerobica tra il 6,1 e il 7,7% in bambini (children = prepubertal) e tra il 7,6 e l'8,6% in adolescenti (adolescents = circumpubertal) di genere maschile.

Gli autori sono inoltre concordi nell'affermare che il grado di allenabilità durante il periodo della *childhood* e *adolescence* risulti essere ugualmente efficace e apparentemente indipendente dall'età o dal livello di maturità del soggetto, ipotizzando invece un ruolo da protagonista per quanto riguarda l'intensità relativa dell'esercizio proposto. I risultati suggeriscono che un'intensità superiore all'85% della frequenza cardiaca massimale (maggiore di quella necessaria per individui adulti) risulti indispensabile per ottenere miglioramenti significativi in termini di $VO_2\text{max}$.

Un ruolo di grande interesse viene inoltre affidato al livello di fitness basale dei soggetti (baseline fitness) (inversamente proporzionale) e alla modalità di valutazione del $VO_2\text{max}$, oltre che al patrimonio genetico del soggetto. I miglioramenti di $VO_2\text{max}$ attribuibili a una componente puramente genetica ed ereditaria risulterebbe ammontare addirittura al 45-50%. Tale quota sembrerebbe essere infatti esplicitata dal grande coefficiente di variazione espresso in numerosi studi a riguardo, nonostante non siano stati in grado di riportare variazioni statisticamente significative.

L'allenamento mirato al miglioramento della capacità aerobica in bambini e adolescenti sembrerebbe tuttavia essere attribuibile primariamente a un aumento della quantità di ossigeno trasportato ai muscoli utilizzati (oxygen delivery to the muscle), quindi della gittata cardiaca, primariamente influenzata da un aumento significativo della gittata sistolica (stroke volume).

La letteratura analizzata ci porta quindi a concludere che non esista una vera *windows of opportunity* riguardo il livello di allenabilità della capacità aerobica durante il periodo della *childhood* e *adolescence*.

“Empirical training studies therefore suggest that the existence of a maturational threshold below which children are not trainable remains to be proved”
(Armstrong & Barker, 2011)

Servendosi delle revisioni della letteratura precedentemente citate siamo in grado di ipotizzare un ideale standardizzazione del protocollo di allenamento necessario al miglioramento del $VO_2\text{max}$ durante il periodo puberale (*ideal standard protocol for aerobic trainin in young people*) (Tab. I).

Potenza arti inferiori

Prima di inoltrarci nella discussione in dettaglio, si ritiene importante sottolineare che numerose revisioni della letteratura hanno ampiamente confutato ogni dubbio riguardo l'efficacia e, in particolar modo, la sicurezza di protocolli di allenamento aventi come obiettivo quello di aumentare le qualità neuromuscolari durante il periodo della *childhood* e *adolescence* (resistance training), *se attentamente programmati e monitorati*. Tale programmazione ci porta tuttavia inevitabilmente a dover considerare i parametri che potrebbero influire in maniera positiva o negativa sul miglioramento di prestazioni, quale ad esempio l'*adolescent awkwardness* tipico di alcuni soggetti durante il periodo di sviluppo giovanile.

In una recente meta-analisi è stato concluso che sia possibile ottenere miglioramenti nella capacità di forza sia in soggetti pre-puberi (Tanner stage 1) sia mid/post-puberi (Tanner stage 2-4/5), seppur con incrementi doppi per quanto riguarda gli individui più maturi (ES: 0,81 vs 1,91). Nonostante tale differenza venga spesso attribuita allo straordinario incremento ormonale coincidente con l'inizio della pubertà, non esistono attualmente sufficienti evidenze scientifiche in grado di dimostrare tale ipotesi. Gli incrementi di forza sembrerebbero infatti essere lineari durante il periodo della *childhood* e *adolescence*.

Tale differenza potrebbe tuttavia essere unicamente frutto di un convenzionale aumento della dose di allenamento (training dose) durante il periodo della pubertà come proposto dalla *British Association of Sport and Exercise Sciences*.

Non è quindi possibile, attualmente, individuare una sostanziale *windows of opportunity* riguardo la capacità di forza, a causa di un probabile spiccato effetto apprendimento (learning effect) e aumento della coordinazione (motor control). Tali adattamenti si ipotizza infatti possano essere unicamente attribuibili a una scarsa esperienza motoria pregressa sia in termini di movimento valutato sia di tipologia di allenamento.

Correlazioni significative (positive) sono state infine individuate unicamente con il livello di maturità (z-score = 2,45), durata del periodo di allenamento (settimane)

Tabella I. Protocollo di allenamento aerobico ideale (Baquet et al., 2003, Armstrong & Barker, 2011).

Frequenza (allenamenti/settimana)	Durata (minuti)	Durata periodo di allenamento (settimane)	Intensità	Tipologia
3-4	30-60	> 12 settimane (incerto)	> 80% FCMAX	Continuo + interval training (usando grandi gruppi muscolari)

Tabella II. Protocollo di allenamento neuromuscolare ideale (Behm et al., 2008, American Academy of Pediatrics Council on Sports Medicine and Fitness, 2008).

Frequenza (allenamenti/settimana)	Volume	Durata periodo di allenamento (settimane)	Intensità	Metodo	Mezzo
3-4	> 20-30 minuti 6-12 esercizi (per tutto il corpo) 1-4 serie per esercizio 8-15 ripetizioni per serie	> 8	Circa 60% 1RM (progressione = +10%)	ROM completo Isometrico Anisometrico Pliometrico	Calistenico Macchinari fitness Pesi liberi Instabilità

($r = 0,28$) e sessioni di allenamento settimanali ($r = 0,26$). Nessuna correlazione significativa è stata invece individuata tra efficacia dell'allenamento (resistance training) ed età, altezza, massa corporea, intensità (% 1RM), volume (serie x ripetizioni), mezzo di allenamento (pesi liberi o macchine) e tipologia di contrazione muscolare (isometrica, anisometrica e isocinetica). La capacità di forza, valutata solitamente in forma isometrica (static strength), risulta essere allenabile già dall'età di 12 anni con probabili picchi di miglioramenti

in seguito all'età del PHV e coincidente con il cosiddetto *Peak Weight Velocity* (PWV). Per quanto riguarda invece l'allenabilità della potenza degli arti inferiori, a conferma di quanto visto nel paragrafo precedente, si ritiene che picchi di miglioramenti in prestazioni di salto verticale con contro movimento si possano ottenere, anch'essi, in coincidenza con il PWV, osservabile solitamente pochi mesi dopo il PHV. La letteratura attualmente disponibile non è quindi ancora in grado di spiegare in maniera univoca la *causa primaria* di tali adattamenti.

COMPOSITE YOUTH DEVELOPMENT (CYD) MODEL FOR MALES																					
CHRONOLOGICAL AGE (YEARS)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+	
AGE PERIODS	EARLY CHILDHOOD			MIDDLE CHILDHOOD							ADOLESCENCE						ADULTHOOD				
MATURATIONAL STATUS	YEARS PRE-PHV							PHV							YEARS POST-PHV						
TALENT DEVELOPMENT	Investment years			Sampling years							Recreation years							Specializing years			
	Exploration and social interaction			Peer relationships, empowerment, self-esteem							Self-worth, self confidence							Sport-specific psychological skills			
PSYCHO-SOCIAL DEVELOPMENT	Motivation for lifetime engagement in sports and physical activity																				
PSYSICAL DEVELOPMENT	FMS	FMS		FMS		FMS															
	SSS	SSS		SSS		SSS															
	Mobility	Mobility							Mobility												
	Agility	Agility							Agility			Agility									
	Speed	Speed							Speed			Speed									
	Power	Power							Power			Power									
	Strenght	Strenght							Strenght			Strenght									
	Hypertrophy							Hypertrophy			Hypertrophy			Hypertrophy							
	Endurance & MC							Endurance & MC			Endurance & MC			Endurance & MC							

Figura 3. Modello di programmazione di allenamento giovanile a lungo termine per individui di genere maschile. La dimensione del font si riferisce all'importanza, i riquadri di colore giallo si riferiscono agli adattamenti del periodo pre-adolescenziali, i riquadri di colore arancione si riferiscono al periodo adolescenziale. È disponibile anche una versione per individui di genere femminile. FMS: fundamental movement skills; MC: metabolic conditioning; PHV: peak height velocity; SSS: sport-specific skills; YPD: youth physical development (Lloyd et al., 2015).

In base agli studi analizzati è possibile individuare un protocollo di allenamento che sia sicuro ed efficace per soggetti durante il periodo della *childhood* e *adolescence* (Tab. II).

Conclusioni

Le evidenze scientifiche presentate possono essere riassunte e riordinate nel lavoro di Lloyd et al. i quali hanno ripreso e ampliato la proposta di Baly e Way del cosiddetto LTAD (*Long-Term Athlete Development*) (Fig. 3), sottolineando ancora una volta l'importanza dell'individualizzazione della tipologia e della dose di allenamento in base al livello di maturità del singolo atleta.

Nonostante sia stata quindi confermata l'ipotesi dell'efficacia del processo di allenamento durante il periodo della pubertà, è stato più volte ipotizzato che un eccessivo stimolo allenante potesse essere in grado di alterare la normale maturazione di un soggetto in età puberale (Blimkie, 1993 in Behm et al., 2008). Tale idea non sembrerebbe tuttavia trovare evidenza scientifica quando si valuta il campione dal periodo pre-puberale fino al raggiungimento dell'età adulta. L'equivoco si ritiene nasca a causa dello specifico processo di selezione di ogni sport, il quale potrebbe far ipotizzare un rapporto di causa-effetto tra timing di maturazione e allenamento (Fig. 4). Una recente revisione della letteratura riguardo l'influenza dell'allenamento su vari aspetti del processo di maturazione biologica in atleti di ginnastica artistica di entrambi i generi, afferma che il ritardo in termini di maturazione (spesso documentato in atleti praticanti ginnastica artistica) non sia dovuto all'intenso processo di allenamento a cui gli atleti sono sottoposti, bensì al processo di selezione che individua in soggetti con maturazione biologica ritardata (*late-maturity*) i più adatti. Il rapporto tra massa corporea e statura (*weight-for-height*) e statura da adulto (*adult stature*) non risulterebbero infatti compromessi, se i soggetti venissero paragonati con adolescenti mediamente bassi e con maturità ritardata. Si ritiene quindi che il processo di allenamento sia in grado di modificare la composizione

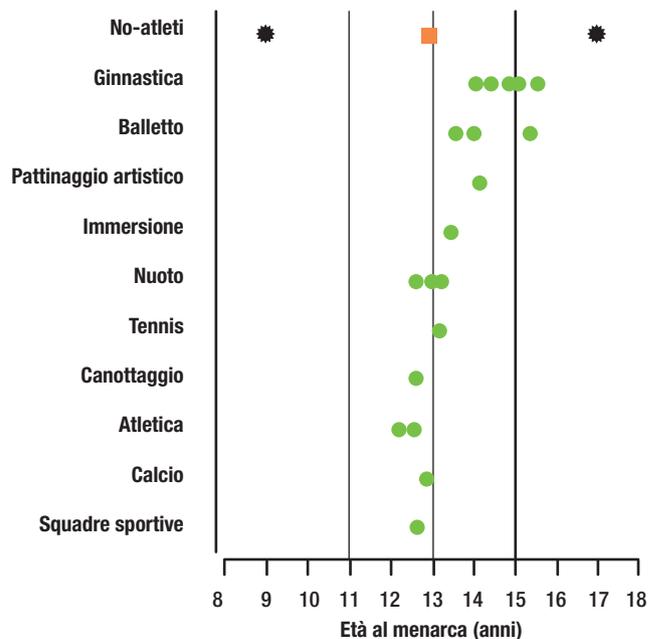


Figura 4. Relazione tra sport praticato e timing di maturazione in termini di età del primo menarca (Beunen & Malina 2008).

corporea (*body composition*) e la prestazione motoria in differenti *task*, senza alterare i processi di maturazione. Risulta tuttavia attualmente difficile discriminare quanto dei miglioramenti stimati siano da attribuire al processo di allenamento e quanto al processo di crescita (*growth*) e maturazione (*maturation*).

Quanto illustrato in questo approfondimento andrebbe quindi condiviso con i numerosissimi istruttori, allenatori e insegnanti che si occupano di attività motoria e sportiva che ancora basano i propri protocolli di allenamento su vecchie concezioni o nuovi stereotipi.

Dal nostro progresso partirà la crescita dei nostri nuovi giovani!

Bibliografia di riferimento

American Academy of Pediatrics Council on Sports Medicine and Fitness, McCambridge TM, Stricker PR. *Strength training by children and adolescents*. Pediatrics 2008;121:835-40.

ACSM's Certification Review. edn. 3. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins 2010.

Armstrong N, Welsman JR. *Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans*. Eur J Appl Physiol 2001;85:546-51.

Armstrong N, Barker AR. *Endurance training and elite young athletes*. Med Sport Sci 2011;56:59-83.

Baquet G, van Praagh E, Berthoin S. *Endurance training and aerobic fitness in young people*. Sports Med 2003;33:1127-43.

Baxter-Jones ADG, Eisenmann JC, Sherer LB. *Controlling for maturation in pediatric exercise science*. Pediatric Exercise Science 2005;17:18-30.

Behm DG, Faigenbaum AD, Falk B, et al. *Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents*. Appl Physiol Nutr Metab 2008;33:547-61.

Behringer M, Vom Heede A, Yue Z, et al. *Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis*. Pediatrics 2010;126:1199-210.

Beunen G, Malina RM. *Growth and biologic maturation: relevance to athletic performance*. In: Hebestreit H, Bar-Or O, editors. *The young athlete*. Malden, MA: Blackwell Publishing 2008.

Bishop D. *An applied research model*

for the sport sciences. Sports Med 2008;38:253-63.

Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, et al. *Youth resistance training: updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association*. J Strength Cond Res 2009;23:S60-S79.

Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, et al. *The long-term athlete development model: physiological evidence and application*. J Sports Sci 2011;29:389-402.

Hebestreit H, Bar-Or O, editors. *The young athlete*. Malden, MA: Blackwell Publishing 2008.

Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, et al. *Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth*. J Strength Cond Res 2014;28:1453-64.

- Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, et al. *Long-term athletic development - part 1: a pathway for all youth*. J Strength Cond Res 2015;29:1439-50.
- Malina RM, Baxter-Jones AD, Armstrong N, et al. *Role of intensive training in the growth and maturation of artistic gymnasts*. Sports Med 2013;43:783-802.
- Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, et al. *An assessment of maturity from anthropometric measurements*. Med Sci Sports Exerc 2002;34:689-94.
- Payne VG, Morrow JR Jr, Johnson L, et al. *Resistance training in children and youth: a meta-analysis*. Res Q Exerc Sport 1997;68:80-8.
- Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, et al. *The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players*. J Sports Sci 2006;24:221-30.
- Quatman-Yates CC, Quatman CE, Meszaros AJ, et al. *A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness?* Br J Sports Med 2012;46:649-55.
- Science BASE (British Association of Sport and Exercise Sciences). *The BASES expert statement on trainability during childhood and adolescence*. The Sport and Exercise Scientist 2014;(41).
- Rogol AD, Roemmich JN, Clark PA. *Growth at puberty*. J Adolesc Health 2002;31:192-200.

CORRISPONDENZA

Giacomo Schillaci
giacomo.schillaci@gmail.com