

L'aptitude aérobie des enfants des deux sexes durant le développement pubertaire.

KHIAT Belkacem ;

Institut de l'Education Physique et Sportive ; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (ALGERIE).
e-mail : bkhiat@hotmail.com

Résume :

Le but de cette investigation longitudinale est d'analyser l'évolution de la puissance maximale aérobie des filles et des garçons en fonction de la maturation biologique. 200 collégiens des deux sexes âgés de 11 à 15 ans, ne pratiquant aucune activité sportive régulière ont consenti à prendre part à l'évaluation entrant dans le cadre de la réalisation de notre recherche pendant deux années et demi. L'âge pubertaire des enfants concerné par cette étude a été estimé sur la base de la classification de Tanner. En ce qui concerne les paramètres morphologiques, nous avons procédé aux mesures de la taille, du poids, du poids maigre, des plis cutanés ainsi que des périmètres du biceps, de la cuisse et du mollet. En outre, nous avons déterminé la consommation maximale d'oxygène (VO_2max) des sujets grâce au test navette de 20-m de Léger et Gadoury.

Les résultats obtenus montrent que la majorité des indices morphologiques des deux populations ont évolué de manière très significative du stade pubertaire 1 au stade 4. Par ailleurs, en ce qui a trait aux résultats de la VO_2max , si ceux des garçons augmentent très significativement entre les stades 1 et 4, par contre ceux des filles décroît significativement durant le même intervalle.

A travers les résultats obtenus, il s'avère que la composition corporelle des jeunes des deux sexes ne semble pas être la seule cause de l'évolution de la VO_2max , ce pourquoi, nous pensons que d'autres facteurs influent sur l'aptitude aérobie tel que l'hérédité, la maturation biologique et les habitudes dans les activités physiques.

Mots clés : aptitude aérobie - VO_2max – stades pubertaires.

SUMMARY

The purpose of this longitudinal study is to study the evolution of boys and girls maximal aerobic power according to their biological maturation.

200 pupils from both sexes whose age range varies between 11 and 15 years, practising no regular sport activity have agreed to be our sample of research during two and half years. The puberty age was evaluated according to Tanner's classification. We proceeded to the measurement of the morphological parameters such as height, weight, the mass body lean, the skin folds as well as the circumferences of biceps, thigh and calf. The maximal oxygen consumption (VO_2max) was determined by the 20-m shuttle run test of Leger and Gadoury.

Our results reveal that the majority of the morphological indicators of both populations have evaluated very significantly from puberty stage 1 to stage 4. We also notice that the boys VO_2max increases very significantly between stage 1 and 4 while the girls one decreases significantly during this same interval.

The youth body component of both sexes are not seem to be the only cause of the VO_2max evolution, other factors affect aerobic fitness especially heredity, biological maturation and the habits in the physical activities.

Key words: aerobic fitness - VO_2max – puberty stages.

Introduction

L'enfance et l'adolescence, en tant que périodes de transition vers l'état adulte, présentent une série d'évolutions morphofonctionnelles particulièrement importantes qui influencent dans les possibilités de développement d'aptitudes physiques et psychiques. Les données recueillies sur de longues périodes montrent que la chronologie de la puberté n'est pas immuable, tout en sachant l'existence de variations d'un individu à l'autre. Ces variations peuvent dépendre de facteurs internes d'ordre génétique (début des pubertés familiales) ou pathologiques (liées à une maladie chronique). Des facteurs externes peuvent également intervenir : socio-économiques, sportifs, nutritionnels, géographiques (altitude). Concernant les capacités d'effort, il semble que la période pubertaire entraîne des modifications sensibles et distinctes du potentiel physique à un même âge chronologique. Les types d'effort et de la capacité à fournir un effort par les enfants et les adolescents ne doivent pas être entendus comme la réduction quantitative optimale de la capacité des adultes. En effet, au contraire des adultes, les enfants et les adolescents possèdent ce que l'on appelle des phases sensibles durant lesquelles le développement optimal des principales formes d'effort peut s'effectuer à divers degrés et moments.

Il est, généralement, admis que l'organisme de l'adolescent présente une grande faculté d'adaptation, particulièrement, dans le domaine de la performance aérobie. De plus, c'est au cours de la puberté que l'organisme subit les plus grandes modifications morphologiques et fonctionnelles secondaires au développement du système neuroendocrinien dominé notamment par l'accroissement des hormones sexuelles et de croissance. Cette étape privilégiée est, ainsi, propice pour développer l'entraînement en endurance et augmenter la condition physique propre à chaque discipline sportive. Du point de vue de la médecine sportive, il faut porter une attention particulière au développement de l'endurance chez l'enfant, car, c'est l'entraînement de l'endurance qui a, et de loin, la plus grande influence sur les autres paramètres de la capacité de performance de l'organisme.

L'endurance étant un déterminant essentiel de nombreuses performances sportives. Il est, donc, logique, que sa mesure fasse partie de toute évaluation des qualités physiques. Dans cet ordre d'idée, sachant que le travail de plus ou moins longue durée nécessite une énergie mécanique basée sur le métabolisme aérobie, explique pourquoi la consommation maximale d'oxygène ou puissance aérobie représente le critère d'appréciation le plus utilisé, depuis sa définition par Astrand en 1954. De

plus l'aptitude aérobie est considérée comme un indicateur significatif de la santé générale des enfants et des adolescents et comme l'un des meilleurs indices de la relation santé-aptitude physique des jeunes individus (Krahenbuhl et coll., 1985).

L'orientation et l'adaptation de l'entraînement pour le développement de cette aptitude aérobie dépendent, certainement, des pics de croissance, différents pour les garçons et pour les filles, car, celles-ci arrivant à maturité plus précocement, et des facteurs héréditaires inhérents à chaque individu (5).

Dans cet ordre d'idées, l'un des aspects de cette étude est de cerner les éventuelles relations existant entre l'âge pubertaire, les indices morphologiques et l'aptitude aérobie. Il s'agira pour nous de déterminer l'âge pubertaire ou le moment le plus propice pour entamer un entraînement en endurance (aérobie) pour chacun des deux sexes. Si la détermination des phases sensibles peut être opérationnelle, nous pourrions adapter la meilleure charge d'entraînement au meilleur moment, avec les meilleurs résultats sur le plan biologique, et par conséquent au niveau des performances sans porter préjudice à la croissance, au développement naturel des jeunes athlètes et à leur santé.

Le choix de deux populations l'une féminine et l'autre masculine a été fait dans le but d'indexer les aspects communs et les probables différences dans l'évolution de l'aptitude aérobie en fonction de la cinétique pubertaire. A cet effet, l'objectif de notre travail est d'étudier l'évolution de certains paramètres morphologiques et de la consommation maximale d'oxygène durant les différents stades de la puberté. Cela nous permettra de mieux connaître l'évolution naturelle de ces indices durant ces périodes et par conséquent d'orienter l'entraînement en fonction du degré de maturité biologique.

Matériels et Méthodes

1. Population :

Notre étude longitudinale a porté sur un groupe de deux cent jeunes collégiens sédentaires âgés de 11 à 15 ans (108 filles et 92 garçons). Tous ont consenti à suivre le protocole réalisé dans leurs établissements scolaires.

2. Protocole expérimental :

Chaque sujet a été examiné avant d'être autorisé à suivre le protocole suivant qui a été utilisé à trois

reprises sur une période de 30 mois par les mêmes examinateurs :

2.1. Evaluation du Stade Pubertaire :

L'état de maturation a été estimé par comparaison avec les standards de la classification pubertaire de Tanner (1962). Ces indices distinguent cinq niveaux de maturation en caractérisant les modifications sexuelles subies par l'organisme en voie de croissance.

2.2. Mesures Anthropométriques :

- mesure de la Taille (en cm) à l'aide d'une toise ;
- mesure du Poids du corps (en kg) à l'aide d'une balance (type HB-LO5) à précision 100 g ;
- mesure des principaux Périmètres du corps (Périmètres maximaux du Biceps, de la Cuisse, du Mollet) ;
- mesure des quatre Plis Cutanés (Bicipital, Tricipital, Sous-Scapulaire, Sus-Iliaque) à l'aide d'une pince type Lange ;
- calcul du Poids Maigre (Durnin et Rahaman, 1967).

2.3. Evaluation de la Consommation Maximale d'Oxygène (VO₂ max) :

La consommation maximale d'oxygène (VO₂ max.) a été déterminée d'une manière indirecte par le test progressif de course navette de 20 m de Léger et Gadoury (1989).

L'épreuve consiste à courir sans arrêt en faisant des allers-retours sur un parcours de 20 m.

L'épreuve est de type maximal et progressif : les sujets courent le plus longtemps possible jusqu'à ce qu'ils ne peuvent plus suivre la vitesse imposée.

Cette vitesse débute à 8,5 km.h⁻¹ et augmente de 0,5 km.h⁻¹ par minute.

Une bande magnétique sert de support audiovisuel à l'épreuve navette de 20 m : à chaque signal sonore émis le sujet doit parvenir simultanément à l'une des extrémités du trajet de 20 m ; une avance ou un retard de 1 ou 2 m est toléré. L'épreuve est arrêtée lorsque le sujet accuse deux retards successifs de 3 mètres par rapport au signal sonore.

2.4. Méthodes Statistiques :

Les différents résultats sont exprimés par leurs moyennes et leurs écarts types en fonction de la classification pubertaire. Nous avons procédé à des analyses de variance (ANOVA) pour mieux exprimer l'évolution des différents paramètres selon les stades de la maturation biologique. Cette analyse a été complétée par une étude de corrélation (corrélations de Pearson) pour voir le niveau de relation pouvant exister entre la consommation maximale d'oxygène et les principaux indices anthropométriques durant la puberté.

Les résultats

1. Les Indices Anthropométriques :

1.1. Les indices anthropométriques des Filles :

Tableau 1 : valeurs moyennes (\pm écart type) des paramètres anthropométriques des Filles exprimées selon les stades de la puberté.

Stades Pubert.	AGE (an)	TAILLE (cm)	POIDS (kg)	% M.G.	PDS. Maig. (kg)	Péri. Bic. (mm)	Péri. Cuis. (mm)	Péri.Mol. (mm)
S 1 (n=10)	11.08 $\pm 0,6$	148.60 $\pm 7,24$	39.46 $\pm 11,59$	13.06 $\pm 4,94$	33.69 $\pm 9,8$	20.73 $\pm 4,09$	42.55 $\pm 6,47$	30.00 $\pm 4,46$
S 2 (n=23)	12.39 $\pm 0,7$	150.87 $\pm 6,45$	39.86 $\pm 11,99$	15.22 $\pm 4,89$	34.85 $\pm 6,87$	20.84 $\pm 4,04$	44.26 $\pm 5,78$	30.55 $\pm 3,28$
S 3 (n=30)	12.69 $\pm 0,6$	156.37 $\pm 7,36$	44.27 ± 7	12.35 $\pm 4,66$	38.16 $\pm 6,58$	21.10 $\pm 2,7$	43.95 $\pm 4,66$	26.18 $\pm 7,73$
S 4 (n=27)	13.36 $\pm 0,5$	158.52 $\pm 6,85$	50.04 $\pm 6,53$	15.01 $\pm 5,16$	43.23 $\pm 5,99$	22.94 $\pm 1,87$	46.17 $\pm 4,61$	33.57 $\pm 3,83$

Tableau 2 : analyse de variance à un facteur : évolution des indices anthropométriques des filles selon les stades de la puberté.

Indices	Stades Pub.		S1-S2		S2-S3		S3-S4		S1-S3		S2-S4		S1-S4	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Taille	0,8	NS	8,07	**	1,30	NS	6,46	***	7,91	***	8,14	***		
Poids	0,01	NS	2,82	NS	10,28	***	1,68	NS	8,85	***	6,55	***		
% M.G.	1,35	NS	4,73	**	4,16	*	2,39	NS	2,97	NS	2,10	NS		
Poids Maig.	0,15	NS	3,18	NS	9,16	***	2,10	NS	10,74	***	8,01	***		
Péri. Biceps	0,01	NS	0,08	NS	8,78	**	0,06	NS	4,03	*	2,70	*		
Péri. Cuisse	0,57	NS	14,40	***	24,56	***	8,72	***	17,35	***	12,21	***		
Péri. Mollet	0,16	NS	11,44	***	2,91	NS	7,91	***	7,26	***	6,45	***		

*: P < 0,05; **: P < 0,01; ***: P < 0,001; NS: non significatif.

Les résultats des filles montrent que la majorité des indices anthropométriques ont évolué (tableau 2). Mais cet accroissement n'est pas homogène durant les différentes étapes de la puberté. Ainsi on ne relève aucune augmentation significative pour tous les paramètres anthropométriques entre les stades pubertaires 1 et 2. Les accroissements significatifs apparaissent à partir du stade 2 où l'on constate une évolution très significative du Poids et du Pourcentage de Matière Grasse ($p < 0,01$) ainsi que des Périmètres de la Cuisse et du Mollet ($p < 0,001$). Par contre on note un **pic de croissance au stade 3** durant lequel le Poids, le Poids Maigre, le Périmètre de la Cuisse augmentent très

significativement ($p < 0,001$); le Pourcentage de Matière Grasse évolue significativement ($p < 0,05$) et le Périmètre du Biceps s'accroît très significativement ($p < 0,01$). D'autre part à ce stade 3, l'évolution de la Taille et du Périmètre du Mollet reste non significative.

1.2. Les indices anthropométriques des Garçons :

Dans le tableau 3 sont réunies les données moyennes des mesures anthropométriques des garçons en fonction des stades de la puberté.

Tableau 3 : valeurs moyennes (\pm écart type) des paramètres anthropométriques des Garçons selon les stades de la puberté.

Stades Pubert.	AGE (an)	TAILLE (cm)	POIDS (kg)	% M.G.	PDS. Maig. (kg)	Péri. Bic. (mm)	Péri. Cuis. (mm)	Péri.Mol. (mm)
S 1 (n=13)	12.30 $\pm 0,6$	150.46 $\pm 7,13$	43.38 $\pm 8,26$	10.74 $\pm 4,84$	38.42 $\pm 5,63$	21.40 $\pm 3,11$	44.38 $\pm 5,56$	30.81 $\pm 3,09$
S 2 (n=33)	13.15 $\pm 0,7$	155.30 $\pm 7,32$	44.36 $\pm 8,13$	7.72 $\pm 4,63$	40.24 $\pm 6,35$	21.29 $\pm 2,45$	43.32 $\pm 4,79$	30.92 $\pm 2,44$
S 3 (n=28)	14.04 $\pm 0,8$	163.11 $\pm 6,91$	52.61 $\pm 9,19$	9.8718 $\pm 7,84$	46.49 $\pm 6,80$	22.946 $\pm 2,74$	44.57 $\pm 5,43$	33 $\pm 2,97$
S 4 (n=15)	14.99 $\pm 0,6$	168.13 $\pm 5,7$	56.31 $\pm 6,88$	8.72 $\pm 2,55$	50.93 $\pm 5,87$	23.40 $\pm 2,28$	45.20 $\pm 3,92$	33.21 $\pm 2,59$

Tableau 4 : analyse de variance à un facteur, évolution des indices morphologiques des garçons durant les stades de la puberté.

Indices	Stades Pub.		S1-S2		S2-S3		S3-S4		S1-S3		S2-S4		S1-S4	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Taille	4,14	*	18,12	***	5,75	*	16,53	***	20,52	***	21,63	***		
Poids	0,13	NS	13,84	***	1,86	*	8,67	***	13,23	***	11,01	***		
% M.G.	3,87	NS	0,65	NS	.5	NS	1,81	NS	0,47	NS	1,38	NS		
Poids Maig.	0,82	NS	21,14	***	1,99	NS	14,84	***	18,38	***	16,93	***		
Péri. Biceps	0,02	NS	6,24	*	0,30	NS	3,21	*	4,98	**	3,55	*		
Péri. Cuisse	0,42	NS	0,92	NS	0,16	NS	0,49	NS	0,93	NS	0,60	NS		
Péri. Mollet	0,02	NS	8,98	***	0,05	NS	5,06	**	6,03	***	4,71	***		

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; NS: non significatif.

D'une manière générale on a constaté une évolution très significative de tous les indices morphologiques du premier au quatrième stade pubertaire (S1 à S4) sauf pour le Pourcentage de Matière Grasse (% M.G.) ainsi que pour le Périmètre de la Cuisse (tableau 4). Néanmoins la cinétique de chaque indice est différente d'un stade pubertaire à l'autre. Ainsi pour la majorité des paramètres mesurés aucune différence significative n'a été noté entre les stades 1 et 2 sauf pour la Taille ($p < 0,05$) et aucune différence significative entre les stades 3 et 4 sauf pour la Taille et le Poids ($p < 0,05$). Concernant les indices % M.G. et le Périmètre de la Cuisse aucune différence significative n'a été relevée à tous les stades. On remarque qu'un **pic de croissance** apparaît entre les stades 2 et 3. Ce pic de croissance s'exprime par une augmentation très significative ($p < 0,001$) durant cet intervalle de la Taille, du Poids, du Poids Maigre et du Périmètre du Mollet, et dans une moindre mesure ($p < 0,05$) du Périmètre du Biceps.

2. La Consommation Maximale d'Oxygène (VO₂ max.) :

2.1. La VO₂ max des Filles :

Sur le tableau 5 figurent les moyennes et écarts types de VO₂max (ml. kg⁻¹. mn⁻¹) et VO₂max relative au poids maigre (ml. kg⁻¹ LBM. mn⁻¹) des filles durant les quatre premiers stades pubertaires. Ces valeurs varient entre 45,56 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ au stade 1 et 43,50 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ au stade 4 pour

VO₂max relative au poids du corps et de 39.01 ml. kg⁻¹ LBM. mn⁻¹ au stade 1 à 37.39 ml. kg⁻¹ mn⁻¹ au stade 4.

Tableau 5 : La VO₂ max des Filles selon les stades de la puberté

Stades Pubert.	AGE (an)	VO ₂ max (ml.kg.mn.)	VO ₂ max (ml.kg.LBM.mn.)
S 1	11.08	45.56	39.01
(n=10)	± 0,6	± 4,57	± 4,30
S 2	12.39	46.51	39.34
(n=23)	± 0,7	± 3,76	± 4,07
S 3	12.69	46.23	39.63
(n=30)	± 0,6	± 3,96	± 4,15
S 4	13.36	43.50	37.39
(n=27)	± 0,5	± 3,76	± 4,42

LBM = Lean Body Mass (Poids Maigre)

Après une augmentation qui n'est pas significative aux stades 2 et 3 (46,51 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ et 46,23 ml. kg⁻¹. mn⁻¹) la consommation maximale d'oxygène relative au poids du corps des filles diminue significativement ($p < 0,01$) à partir du stade 4 atteignant 43,50 ml. Kg⁻¹. mn⁻¹. Cette diminution significative est relevée aussi entre les stades 2 et 4 ainsi qu'entre les stades 1 et 4.

Tableau 6 : Analyse de variance à un facteur, évolution de VO₂max/Poids du Corps et VO₂max/Poids Maigre des Filles durant la puberté

Stades Pubertaires	S1-S2		S2-S3		S3-S4		S1-S3		S2-S4		S1-S4	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
VO ₂ max.(ml.kg.mn)	0,39	NS	0,07	NS	7,09	**	0,20	NS	4,98	**	3,19	*
VO ₂ max.(ml.kg.LBM.mn)	0,04	NS	0,18	NS	4,61	*	0,29	NS	2,62	NS	0,99	NS

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; NS: non significatif

L'analyse de variance (ANOVA) révèle une diminution très significative ($p < 0,01$) de VO_2 max relative au poids du corps des filles entre les stades pubertaires 2 et 4 (tableau 6). Cette diminution est aussi très significative ($p < 0,01$) entre les stades de la puberté 3 et 4. Ces résultats montrent que la VO_2 max/Poids du Corps des filles a tendance à diminuer au fur et à mesure que ces dernières deviennent plus matures ceci étant confirmé par une diminution significative ($p < 0,05$) entre le premier et le quatrième stade.

Quand à l'évolution de VO_2 max relative au poids maigre elle est similaire à celle de VO_2 max relative au poids du corps entre chaque stade de la puberté, néanmoins on note une plus grande stabilité de la première entre les stades 2 et 4 et entre les stades 1 et 4. Ainsi on constate qu'il n'y a pas d'évolution significative de VO_2 max/Poids Maigre des Filles durant les trois premiers stades de la puberté, par contre on relève une diminution significative ($p < 0,05$) entre les stades 3 et 4.

Tableau 7: Evolution comparative de VO_2 max/Poids du Corps et VO_2 max/Poids Maigre des Filles durant la puberté

Stades Pubertaires	VO_2 max (ml.kg.mn)	VO_2 max (ml.kgLBM.mn)
S1	45,58**	39,01
S2	46,51 ns	39,34
S3	46,23 ns	39,83
S4	43,50 ns	37,39

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; NS: non-significatif

En comparant l'évolution de VO_2 max/Poids du Corps et VO_2 max/Poids Maigre des Filles on note une supériorité très significative ($p < 0,01$) de VO_2 max/Poids du Corps au stade 1. Par la suite, durant les stades pubertaires 2, 3 et 4, l'évolution des deux VO_2 max est similaire et aucune différence significative n'est relevée.

2.2. La VO_2 max des Garçons :

Tableau 8 : La VO_2 max des Garçons selon les stades pubertaires

Stades Pub.	AGE (an)	VO_2 max (ml.kg.mn.)	VO_2 max (ml.kgLBM.mn)
S 1	12,30	47,59	42,53
n=13	$\pm 0,6$	$\pm 4,26$	$\pm 4,93$
S 2	13,15	48,38	45,04
n=33	$\pm 0,7$	$\pm 4,09$	$\pm 4,23$
S 3	14,04	48,754	44,84
n=28	$\pm 0,8$	$\pm 5,10$	$\pm 6,02$
S 4	14,99	51,21	46,36
n=15	$\pm 0,6$	$\pm 2,87$	$\pm 2,83$

Le tableau 8 montre les valeurs moyennes de VO_2 max/Poids du Corps et VO_2 max/Poids Maigre au cours des stades de la puberté. Ces valeurs varient de 47,59 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ au premier stade à 51,21 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ au quatrième stade pubertaire pour VO_2 max/Poids du Corps et de 42,53 ml. kg⁻¹ LBM. mn⁻¹ à 46,36 ml. kg⁻¹ LBM. mn⁻¹ pour VO_2 max/Poids Maigre.

Tableau 9 : Analyse de variance à un facteur, évolution de la VO_2 max des garçons selon les stades pubertaires

Stades Pub.	S1-S2		S2-S3		S3-S4		S1-S3		S2-S4		S1-S4	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
VO_2 max.(ml.kg.mn)	1,76	NS	0,28	NS	2,95	NS	0,74	NS	1,83	NS	4,21	**
VO_2 max.(ml.kgLBM)	2,22	NS	0,02	NS	0,82	NS	1,48	NS	0,83	NS	6,57	**

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; NS: non-significatif

Chez les Garçons on ne relève aucune évolution significative de VO_2 max/Poids du Corps entre chacun des quatre stades pubertaires étudiés, néanmoins on note un accroissement significatif ($p < 0,01$) du stade 1 au stade 4, c'est-à-dire de 47,59 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ à 51,21 ml. kg⁻¹. mn⁻¹ (tableau 9).

L'analyse de variance (tableau 10) montre que l'évolution de VO_2 max/Poids Maigre des Garçons est similaire à celle de VO_2 max/Poids du Corps. On ne relève aucune différence significative à chacun des stades de la puberté mais aussi comme pour VO_2 max/Poids du Corps il y a eu une augmentation significative ($p < 0,01$) entre le premier et le quatrième stade.

Tableau 10: Evolution comparative de VO_2 max/Poids du Corps et VO_2 max/Poids Maigre des Garçons durant la puberté.

Stades Pubertaires	VO_2 max (ml.kg.mn)	VO_2 max (ml.kgLBM.mn)
S1	47,59 **	42,53
S2	48,38 ***	45,04
S3	48,75 ***	44,84
S4	51,21 ns	46,36

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; NS: non-significatif

Comme pour les filles on note chez les Garçons que VO_2 max/Poids du Corps est très significativement supérieur ($p < 0,01$) à VO_2 max / Poids Maigre au premier stade pubertaire. Néanmoins et contrairement aux filles, on relève chez les Garçons

que cette supériorité de $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du Corps s'accroît significativement ($p < 0.001$) aux stades 2 et 3. Au stade 4 il n'y a plus de différence significative entre les deux $VO_2\text{max}$.

3. Comparaison des consommations maximales d'oxygènes :

Tableau 11 : Analyse de variance à un facteur, comparaison des $VO_2\text{max}$ des filles et des garçons selon les stades de la puberté.

Stades Pub.	Stade 1		Stade 2		Stade 3		Stade 4	
	F	P	F	P	F	P	F	P
$VO_2\text{max.}(\text{ml.kg.mn})$	1,20	NS	7,21	**	4,50	***	47,44	***
$VO_2\text{max.}(\text{ml.kgLBM.mn})$	3,20	NS	18,55	***	17,08	***	49,82	***

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; NS: non-significatif

L'analyse de variance (ANOVA) indique qu'il n'y a pas de différence significative dans la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du Corps) entre les filles et les garçons au premier stade de la puberté (tableau 11). Globalement la $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du Corps des garçons est plus importante que celle des filles à tous les stades. Néanmoins les différences significatives ne commencent à se révéler qu'à partir du second stade pubertaire et s'accroissent aux stades suivants 3 et 4.

Quand à l'évolution de $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ Maigre des filles et des garçons elle semble similaire à $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du Corps mais plus marquée à partir du stade 2 ($p < 0.001$).

Ainsi, l'analyse de variance (tableau 11) montre qu'au deuxième stade de la puberté la $VO_2\text{max}/\text{PC}$ et $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ Maigre des garçons sont significativement supérieures ($p < 0,01$ et $p < 0.001$) à celles des filles. Cette différence significative continue à se maintenir aux stades 3 et 4 ($p < 0.001$). Parallèlement à cela la $VO_2\text{max}/\text{PC}$ des filles a tendance à diminuer à partir du stade 3, passant de $46.51 \text{ ml. Kg}^{-1} \cdot \text{mn}^{-1}$ au stade 2 à $46.23 \text{ ml. Kg}^{-1} \cdot \text{mn}^{-1}$ au stade 3 puis $43.50 \text{ ml. Kg}^{-1} \cdot \text{mn}^{-1}$ au quatrième stade.

4. Relation $VO_2\text{max}$ / Indices anthropométriques :

Globalement l'analyse corrélative révèle une nette différence entre Filles et Garçons durant la puberté dans l'évolution corrélative de $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du Corps avec les paramètres anthropométriques que sont la taille, le poids, le pourcentage de masse grasse et le poids maigre.

4.1. Evolution corrélative de la $VO_2\text{max}/\text{Poids}$ du corps des Filles avec les paramètres biométriques durant la puberté (coefficient de Pearson; $p < 0.05$) : (tableau 12)

Les résultats montrent que $VO_2\text{max}/\text{PC}$ des filles au premier et au second stade pubertaire est corrélé significativement avec la taille, le poids et le poids maigre. Par contre on ne relève aucune corrélation significative aux stades 3 et 4.

Tableau 12 : corrélations $VO_2\text{max}/\text{PC}$ des Filles avec les indices anthropométriques durant la puberté.

Indices	TAILLE	POIDS	%MG	Pds Maig.
Stade 1	-0.71*	-0.83*	0.09	-0.89*
Stade 2	-0.43*	-0.50*	0.02	-0.76*
Stade 3	-0.01	0.00	0.32	-0.11
Stade 4	0.20	0.01	0.18	-0.05

*= significatif

4.2. Evolution corrélative de la $VO_2\text{max}$ des garçons avec les paramètres biométriques durant la puberté (coefficient de Pearson ; $p < 0.05$) : (tableau 13)

Pour les garçons on note une corrélation significative de $VO_2\text{max}/\text{PC}$ au second stade de la puberté avec le Poids et le Poids Maigre. Par contre aucune corrélation significative n'apparaît pour tous les indices aux stades 1, 3 et 4.

Tableau 13 : corrélations VO₂max/PC des Garçons avec les indices anthropométriques durant la puberté.

Indices	TAILLE	POIDS	%MG	Pds Maig.
Stade 1	0.08	-0.10	-0.33	0.01
Stade 2	-0.05	-0.47*	-0.28	-0.40*
Stade 3	-0.24	-0.24	-0.33	-0.23
Stade 4	-0.07	0.45	0.24	0.45

*= significatif

Tous les modèles qui décrivent la croissance montrent que les données de la croissance biologique varient (parfois d'une manière très importante) d'un enfant à l'autre et que la relation entre les séquences de la maturation et l'âge chronologique n'est pas toujours hautement prédictible. De manière similaire les réponses physiologiques aux exercices d'endurance ou aérobies développés par les différents modèles de croissance des enfants font apparaître des différences (parfois aussi très importantes) d'un enfant à l'autre (Rowland, 1993; Dey S.K. et Purthasarathi, 2003).

La particularité de cette étude réside dans l'utilisation de la classification de Tanner (1962) selon les stades de la maturation biologique qui rend compte de l'évolution des différents paramètres morphologiques et des indices du développement pubertaire, leur influence sur la réponse physiologique observée à l'effort aérobic chez les jeunes à cette tranche d'âge.

Comme cela a été relevé dans la littérature (Pineau 1990 et 1991) tous les indices morphologiques des filles (tableau 2, p.37) ont évolué très significativement ($p < 0.001$) entre le premier et le quatrième stade pubertaire excepté le pourcentage de masse grasse (%M.G.) qui n'a pas augmenté significativement ainsi qu'une faible évolution du périmètre du biceps ($p < 0.05$). Cet important accroissement de la majorité des indices morphologiques a débuté au deuxième stade pubertaire et s'est accentué entre les stades trois et quatre. Ainsi la maturation biologique se traduit par des accroissements significatifs chez les filles de tous les caractères morphologiques. Les plus significatifs se situent entre le second et le quatrième stade soit entre 12 et 13 ans. C'est précisément dans cet intervalle de temps qu'apparaît l'âge des premières menstruations qui coïncident avec le pic de croissance. Buckler, 1990 ; Sempé et coll., 1979, ont montré l'importance de la puberté au moment du pic de croissance sur le développement pondéral et statural. On observe aussi dans notre population de filles, parallèlement à l'évolution significative des indices morphologiques, une augmentation non significative de la VO₂ max./PC (VO₂max/Poids du

Corps) entre les stades 1 et 3 suivi d'une diminution significative ($p < 0,01$) de cette dernière entre les stades 3 et 4. La cause commune citée dans la littérature concernant la baisse de VO₂max/PC chez les filles et comme constaté dans notre échantillon, est la plus grande accumulation de graisse sous-cutanée durant et après la puberté. Bien que VO₂max/PC est supérieure à VO₂max/PM (VO₂max/Poids Maigre) aux quatre premiers stades de la puberté, particulièrement au stade 1 ($p < 0,001$), néanmoins on constate une évolution de VO₂max/PM avec une diminution significative au quatrième stade ($p < 0,05$). Ceci laisse supposer que la baisse de VO₂max/PC n'est pas liée uniquement au composant graisseux mais que d'autres facteurs interviennent aussi. Les aspects culturels ont aussi une influence sur les facteurs de l'activité physique chez les filles comme le soulignent aussi certains auteurs (Bar-Or, 1983 ; Krahenbuhl et coll., 1985).

Pour les garçons (tableau 4) les analyses de variance (ANOVA) révèlent une évolution très significative de la majorité de leurs indices morphologiques du premier au quatrième stade pubertaire qui est similaire à celle constatée par différentes études (7,9). Cette évolution est plus significative entre les stades 2 et 3, ce qui correspond au moment du pic de croissance très souvent signalé par plusieurs auteurs (5, 12). Par contre il est à noter l'absence d'une croissance significative du pourcentage de masse grasse (% M.G.) et sa relative stabilité. Cette stabilité a été constatée aussi dans d'autres études (2, 3). Ceci peut s'expliquer par les habitudes alimentaires en liaison avec les conditions sociales qui ne favorisent pas l'émergence d'un morphotype possédant une couche graisseuse importante. Par ailleurs il n'a été relevé aucune différence significative du périmètre de la cuisse à tous les stades pubertaires ceci étant vraisemblablement lié à l'augmentation de la masse musculaire d'une part, et d'autre part à une diminution de la masse grasse.

Par ailleurs VO₂max / Poids du Corps (VO₂max /PC) a évoluée de manière non significative entre un stade et le stade qui suit. Le fait qu'aucune augmentation notable de la VO₂ max/PC n'ait été constatée chez notre groupe de garçons aux différents stades pubertaires a été aussi été rapporté dans d'autres études (Eriksson et Saltin, 1974 ; Krahenbuhl et coll, 1985). Par contre on note que VO₂max/PC et VO₂max/Poids Maigre (VO₂max /PM) des garçons de notre population expérimentale ont augmentés significativement ($p < 0.01$) du premier stade pubertaire au quatrième stade pubertaire (de 47.59 ml.kg.mn à 51.21 ml.kg.mn, et de 42.53 ml.kgLBM.mn à 46.36 ml.kgLBM.mn) alors que les données de la littérature montrent une

plus grande stabilité de la VO_2 max durant les différents stades de la puberté chez les jeunes européens ainsi que les canadiens. Bien que cela reste à confirmer par une étude plus approfondie ceci laisse supposer que nos garçons ont des potentialités d'endurances plus importantes comparées à leurs homologues occidentaux.

Comparaison Filles/Garçons (tableau 11)

La puberté est indissociable de la croissance. Entre le premier et le dernier stade de la puberté tous les caractères morphologiques évoluent significativement, notamment au moment du pic de croissance. La comparaison de l'évolution des indices morphologiques de nos deux populations révèle des différences très significatives pour tous les paramètres particulièrement à partir du troisième stade pubertaire. Ceci s'explique par le fait que cette poussée de croissance survient en général chez les filles entre 11 et 13 ans, alors que chez les garçons elle apparaît un peu plus tard entre 13 et 15 ans. Ces intervalles de temps correspondent pour les filles au moment durant lequel apparaissent les premières menstruations et pour les garçons au pic de croissance lié à l'augmentation significative du taux de testostérone. Cela montre l'importance de la puberté au moment du pic de croissance lors du développement pondéral et statural mis en exergue par de nombreuses études (Buckler, 1990 ; Sempé et coll., 1979 ; Kemper, 1985 ; Pineau, 1991). D'une manière générale la majorité des études faites sur des groupes mixtes, les auteurs constatent qu'il y a une plus grande accumulation de graisse sous-cutanée chez les filles à la puberté (1). Parallèlement à cela, la masse maigre (M.M.) des garçons très significativement supérieure ($p < 0,001$) à celle des filles à partir du deuxième stade pubertaire comme constatée dans notre étude, continue à évoluer jusqu'à l'âge de 18 ans (8). Selon la littérature, la cause de ces différences est liée à la régulation des hormones sexuelles, la testostérone et les oestrogènes (8, 21). Dans ce sens plusieurs études ont montré que la classification pubertaire est plus favorable que la traditionnelle classification par âge dans l'étude des aptitudes physiologiques, morphologiques et physiques des enfants en période pubertaire. Lorsque chez les sujets tardifs le retard peut être d'une ou de plusieurs années (Goussard J.P. in : Manuel de l'entraînement, de J. Weineck, 1998).

Ainsi, les sujets précoces ont, grâce à leurs plus grandes dimensions corporelles et des qualités d'aptitude physiques supérieures, une capacité d'adaptation aux séances d'EPS ou d'entraînement et des performances sportives meilleures que leurs camarades de même âge chronologique mais moins matures. Ceci devient plus problématique quand on a affaire à des groupes mixtes. On constate, comme

signalé dans la littérature, que le développement biologique n'évolue pas nécessairement de concert avec l'âge chronologique. Cette maturation biologique est la cause des importants changements dans les composants du corps (Malina et Bouchard, 1991). Comme on l'a relevé sur les enfants de notre échantillon, il existe une variation considérable entre les individus dans le timing des périodes de maturation. Durant le processus de maturation il apparaît clairement que les garçons ont un accroissement très significatif de leur masse musculaire, de leur force, de leur puissance et de leur endurance ainsi qu'une diminution de leur graisse sous-cutanée (Corbin et Pangrazi, 1998 ; Armstrong et Welsman, 1996). Cet accroissement des différents composants du corps et du potentiel physique est de bien moindre importance chez les filles particulièrement en ce qui concerne la force, la puissance et l'endurance, et ont tendance à une accumulation plus importante de graisse sous-cutanée que les garçons.

L'évolution comparative des puissances aérobies des deux groupes (filles et garçons) fait apparaître tout d'abord une consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) des garçons supérieure à celle des filles à tous les stades de la puberté. Au stade 1 la différence de VO_2 max entre les deux sexes est non significative pour notre population comme relevé sur les jeunes européens et américains (Armstrong et coll, 1994 ; Mirwald et Bailey, 1985 ; Rutenfranz et coll, 1982 ; Kemper, 1985). La différence significative de la puissance aérobie entre nos filles et nos garçons débute à partir du stade 2 de la puberté et s'accroît d'une manière très significative au stade 3 puis au stade 4. Les auteurs sont unanimes à signaler que la phase de stagnation intervient beaucoup plus tôt chez les filles que chez les garçons non entraînés (Mano, 1994). Par la suite, cet écart s'accroît et sera à l'origine des différences notables que l'on retrouvera à l'âge adulte. La différence de VO_2 max/Poids du Corps entre les deux sexes chez les jeunes est sans doute en relation avec les variations dans la composition corporelle, les garçons faisant apparaître un pourcentage de masse maigre plus important durant les années pré pubertaires, par contre les filles sont pénalisées par une accumulation plus grande de graisse sous-cutanée (Armstrong et coll, 1994). Par ailleurs, plusieurs études ont montré que l'âge biologique devra être pris en compte dans l'évaluation de la performance physique durant la croissance (9). Dans ce sens très peu d'études se sont penchées sur l'évolution de l'aptitude aérobie des enfants et des adolescents en fonction du développement pubertaire. Les données longitudinales relatives aux changements durant la croissance pubertaire et qui changent l'aptitude aérobie ne sont pas nombreuses, particulièrement pour les filles (Beunen et Malina, 1988 ; Krahenbuhl

et coll., 1985 ; Malina et Beunen, 1994). Beaucoup d'auteurs affirment que l'analyse appropriée et l'interprétation des données collectées lors d'expériences avec des sujets jeunes sont problématiques et devraient être considérées en relation avec la croissance et la maturation des enfants (Armstrong et Welsman, 1996 ; Kathleen et Mahoney, 1997). Nos résultats révèlent que chez les filles il y a une corrélation très significative de la VO_2 max avec les indices de la Taille, du Poids et du Poids Maigre durant le premier et le second stade pubertaire. Par contre chez les garçons aucune corrélation significative n'a été relevée avec tous les indices morphologiques aux stades pubertaires 1, 3 et 4. Chez ces derniers on note qu'au stade 2 de la puberté il y a une corrélation significative mais négative de la VO_2 max avec le Poids ($r = -0.47$) et le Poids Maigre ($r = -0.40$). Cette absence de corrélations significatives de la VO_2 max des garçons avec les différents paramètres morphologiques que l'on a constaté à tous les stades de la puberté laisse supposer que :

- premièrement l'accroissement de la VO_2 max des garçons n'est pas toujours lié aux dimensions du corps comme l'ont conclu d'ailleurs certaines recherches (Armstrong et coll., 1991 et 1993 ; Sady et Katch, 1981 ; Sady et coll., 1983) ;
- deuxièmement l'étude de l'évolution de l'aptitude aérobie en fonction du degré de maturation fait apparaître que les garçons plus matures ont une VO_2 max supérieure à leurs camarades moins matures cela étant probablement dû à une masse musculaire plus importante et une concentration d'hémoglobine plus grande (Armstrong et Bray., 1991) ;
- troisièmement il est probable que les enfants plus matures ayant naturellement une meilleure aptitude anaérobie leur permet de résister plus longtemps durant les tests et par conséquent d'obtenir un meilleur résultat.

Il faut souligner ici que certaines recherches ont montré que l'hérédité et la maturation avaient un impact important sur les résultats des tests d'aptitude à la performance (Bouchard et coll., 1992 ; Pangrazi et Corbin, 1990).

Bouchard et coll., (1992), ont montré que la trainabilité avait des limites génétiques très importantes. Ainsi certains individus reçoivent plus d'effets bénéfiques d'une activité physique régulière que d'autres. L'effet des séances d'éducation physique et sportive suivies par les enfants de notre groupe expérimental ne montre pas une amélioration

conséquente de la VO_2 max/PC. Ceci a été observé dans d'autres études (18) et peut être imputé aux protocoles des cours d'éducation physique et sportive.

La différence de puissance aérobie entre filles et garçons est attribuée aussi en partie aux différences dans les habitudes de leurs activités physiques et à la concentration d'hémoglobine. Les garçons semblent physiquement plus actifs que les filles (Armstrong et coll., 1994 ; Meen, 2000). L'efficacité d'un entraînement aérobie (mesuré par l'évolution de VO_2 max) a été démontrée. Flandrois, Grandmontagne et coll. (1982) montrent que les filles entraînées ont toujours une VO_2 max supérieure aux sujets non entraînés et, chez les sujets sportifs, les auteurs n'observent plus de diminution de la VO_2 max. Etant donné que les améliorations sont fonction du niveau initial, ce type de sollicitation proposé pendant les séances d'éducation physique et sportive devrait permettre une réelle amélioration du potentiel aérobie chez les filles (comme chez les garçons) qui sont bien souvent sous entraînées par rapport aux garçons. Dans ce sens les épreuves de terrain telles que le test navette de Léger et Gadoury (1989) permettent de connaître la vitesse du dernier palier de ces épreuves. La connaissance de cette vitesse permet de mieux orienter l'entraînement que la connaissance de la valeur réelle de la VO_2 max mesurée en laboratoire.

Conclusion

Les recherches sur la capacité aérobie des enfants durant la croissance sont importantes pour la programmation des entraînements, la pratique athlétique et la rééducation cardio-pulmonaire.

Il apparaît que les dispositions génétiques semblent intervenir pour une part non négligeable dans la détermination des performances physiques nécessitant un métabolisme aérobie. L'influence la plus significative de la puberté se situe sur les accroissements du poids, de la stature et des périmètres du corps entre les stades pubertaires deux et quatre. Les garçons se caractérisant durant cette période par une augmentation de la taille et du poids maigre, les filles montrant une augmentation de leur pourcentage de masse grasse. Dans notre étude l'incidence de la maturation biologique se traduit par des accroissements significatifs mais irréguliers entre les stades 1 et 4 de la majorité des caractères morphologiques. Durant la puberté, généralement entre 11 et 15 ans, les variations pour chaque sexe et entre les deux sexes augmentent grandement (Malina, 1989).

L'évolution différente dans la composition corporelle chez les jeunes des deux sexes ne semble pas être la seule cause de l'évolution significativement plus importante de la VO_2 max des garçons comparés aux filles particulièrement à partir du troisième stade de la puberté. D'autres facteurs liés à la maturation biologique ont certainement une incidence sur l'évolution différenciée de l'aptitude aérobie des enfants et des adolescents tels qu'une concentration d'hémoglobine plus importante chez les garçons ainsi qu'une aptitude anaérobie plus grande chez ces derniers. La différence dans le niveau d'activité physique entre les deux sexes liée aux facteurs culturels est aussi un élément à prendre en compte.

Ainsi pour des raisons différentes il apparaît nécessaire de commencer un travail d'endurance générale appuyé dès le deuxième stade pubertaire aussi bien pour les filles que pour les garçons. Les filles montrent une baisse très significative de leur VO_2 max à partir du troisième stade pubertaire et les garçons subissent un accroissement très significatif de leur taille, leur poids et leur poids maigre à partir du second stade de la puberté.

Néanmoins, l'absence d'une corrélation positive de la VO_2 max de nos garçons avec leur poids maigre contrairement à leurs homologues occidentaux et son évolution plus prononcée nous laisse penser que les facteurs génétiques semblent être la cause de ces différences ce qui reste bien sur à démontrer.

Notre étude met en évidence l'entraînabilité naturelle de l'endurance générale des jeunes des deux sexes, particulièrement pour les garçons, à partir du deuxième stade de la puberté. C'est à partir de cette période que se développent des processus d'adaptation fonctionnelle et structurale responsable de l'amélioration de la performance ou de sa limitation. Aussi, l'appréciation des résultats aux tests physiques sans tenir compte de l'âge pubertaire risque de sous-estimer ou de surestimer leurs valeurs et de fausser la détection et l'orientation de l'entraînement des jeunes. Les tests de laboratoire et de terrain représentent le moyen d'obtenir ces valeurs individuelles à intégrer à la gestion de l'entraînement et à la recherche de performance. En outre l'utilisation de la classification pubertaire permet de différencier d'une manière significative les potentialités des jeunes à même âge chronologique et par conséquent facilite l'orientation de l'entraînement.

L'évaluation objective des aptitudes physiques et particulièrement l'aptitude aérobie en fonction du stade de maturation biologique s'avère ainsi un élément clé et essentiel du processus d'entraînement, présent dans toutes les étapes de son déroulement

pour modifier, corriger, ajuster, sélectionner et orienter la préparation du jeune sportif d'une manière plus adaptée à ses potentialités.

Cette étude fait partie d'un ensemble de recherches dont certaines ont été déjà présentées et d'autres sont en cours de réalisation. Ces dernières feront l'objet d'une étude longitudinale qui portera sur l'évaluation des effets d'un entraînement en endurance sur l'aptitude aérobie des garçons et des filles durant le développement pubertaire.

Bibliographie

1. ANDERSEN K. L., SELIGER V., RUTENFRANZ J. and STROBAK-KACZYNSKI J. (1976). Physical performance capacity of children in Norway. Part IV. The rate of growth in maximal aerobic power and the influence of improved physical education of children in a rural community. *Eur. J. Appl. Physiol.* 35 : 49-58.
2. ANDERSEN K. L., SELIGER V., RUTENFRANZ J. and NESSET T. (1980). Physical performance capacity of children in Norway: The influence of social isolation on the rate of growth in body size and composition and on the achievement in lung function and maximal aerobic power of children in a rural community. *Eur. J. of Appl. Physiol.*, 45: 155-66.
3. ANDERSEN K.L., ILMARINEN J., RUTENFRANZ J., OTTOMAN N., BERNDT I., KYLIAN H. and RUPPEL M. (1984). Leisure time sport activities and maximal aerobic power during late adolescence. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52 : 431-6.
4. AMERICAN COLLEGE of SPORTS MEDECINE.(1990). The recommended quantity and quality of exercise for developing cardiorespiratory fitness and muscular fitness in healthy adults. *Med. Sci. Sports*, 22: 265-74.
5. ARMSTRONG N. and DAVIES B. (1981). An ergometric analysis of age group swimmers. *Br. J. Sports Med.*, 15: 20-26.

6. **ARMSTRONG N. and BRAY S.** (1991). Physical activity patterns defined by heart rate monitoring. *Arch. Dis. Child.* 66: 245-247.
7. **ARMSTRONG N., WELSMAN J.R. and KIRBY B.** (1993). Daily physical activity estimated from continuous heart rate monitoring and laboratory indices of aerobic fitness in pre-adolescent children. *Res. Q. Exerc. Sport* 64 : (suppl.) A24.
8. **ARMSTRONG N., McMANUS A.M. and WELSMAN J.R.** (1994). Children's aerobic fitness. *Br. J. Phys. Educ.* 25: 9-11.
9. **ARMSTRONG N. and WELSMAN J.R.** (1996). Assessment and Interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Int. J. Sports Med.* 17: 356-359.
10. **ASTRAND P. O. and RYHMING I.** (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 7: 218-221.
11. **BAR-OR O.** (1983). *Pediatric sports medicine for the practitioner.* New York: Springer-Verlag.
12. **BEUNEN G. and MALINA R.M.** (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc. Sports Sci. Rev.*, 16 : 503-540.
13. **BOUCHARD C., DIONNE F.T., SIMONEAU J. and BOULAY M.** (1992). Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 20: 27-58.
14. **BUCKLER J.** (1990). *A longitudinal study of adolescent growth.* Springer Verlag, London, Berlin, 430 p.
15. **CORBIN C.B. and PANGRAZI R.P.** (1998). *Physical activity for children: A statement of guidelines.* Reston, VA: NASPE Publications (AAHPERD National Guidelines).
16. **CUMMING G.R. and KEYNES R.A.** (1967). A fitness performance test for school children and its correlation with physical capacity and maximal oxygen uptake. *Journal of The Canadian Medical Association*, 96: 1262-9.
17. **DEY S.K. and PARTHASARATHI D.** (2003). A comparative study of maximal aerobic power of school boys of east and north-east regions of India. *Indian Pediatrics*; 40: 105-114.
18. **DURNIN J. and RAHAMAN M.** (1967). The assessment of amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J. Nutr.* 21: 681-689
19. **ERIKSSON B.O. and SALTIN B.** (1974). Muscle metabolism during exercise aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28: 257-65.
20. **FLANDROIS R., GRANDMONTAGNE M., MAYET MH., FAVIER R., et FRUTOSO J.** (1982). La consommation maximale d'oxygène chez le jeune français, sa variation avec l'âge, le sexe et l'entraînement. *J. Physiol.*, 78 : 186-94.
21. **GREULICH W.W. and PYLE S.I.** (1959). *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the hand and the wrist.* 2e ed., Stanford University Press, Stanford, California.
22. **KATHLEEN F. Janz and MAHONEY Larry T.** (1997). Research Quarterly for Exercise and Sport. *The American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance*, vol. 68, n°1: pp.1-9.
23. **KEMPER H.C.G.** (1985). *Growth, health and fitness of teenagers.* Medicine and Sports Science, vol. 20, Ed. Hebbelinck: 202 p.
24. **KRAHENBUHL G.S., SKINNER S. and KOHRT W.M.** (1985). Development aspects of maximal aerobic power in children. *Exercise Sport Science Revue*, 13: 503-538.
25. **LEGER L. et GADOURY C.** (1989). Validity of a the 20 m shuttle run test with

1 mn stages to predict VO₂ max. in adults. *Can. J. Appl. Spt. Sci.* 14: 21-26.

26. **MALINA R.M. and BOUCHARD C.** (1991). *Growth, maturation and physical activity*. Champaign, Illinois, Human Kinetics.
27. **MALINA R.M. and BEUNEN G.** (1994). *Growth and maturation: methods of monitoring*. In *Encyclopedia of Sports Medicine: The Child and Adolescent Athlete*, Vol. 22, O. Bar-Or (Ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
28. **MANNO, R.** (1994). Les qualités physiques entre 6 et 14 ans. *Revue EPS n°249* : 31-34.
29. **MEEN H.D.** (2000). Physical activity in children and adolescents in relation to growth and development. *Tidsskr Nor Laegeforen*, 120 (24): 2908-14.
30. **MIRWALD R.L. and BAILEY D.A.** (1985). Longitudinal analysis of maximal aerobic power in boys and girls by chronological age, maturity and physical activity. *Saskatoon, University of Saskatchewan*.
31. **PANGRAZI R.P. and CORBIN C.B.** (1990). Age as a factor relating to physical fitness test performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61: 410-414.
32. **PINEAU J.-C.** (1990). Aptitudes physiques et morphologiques au cours de la puberté chez les jeunes filles scolaires. *Cahiers d'anthropométrie et biométrie humaine (Paris)*, VIII, n°1-2 : 115-133.
33. **PINEAU J.-C.** (1991). Importance de la puberté sur les aptitudes physiques des garçons scolaires. *Bull. et Mém. de la Soc.*
34. **ROWLAND T.W.** (1993). Does peak VO₂ reflect VO₂ max in children? Evidence from supramaximal testing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 689-693.
35. **RUTTENFRANZ J., ANDERSEN K.L., SELIGER V., ILMARINEN J., KLIMMER F. and coll.** (1982). Maximal aerobic power affected by maturation and body growth during childhood and adolescence. *Eur. J. Pediatr.* 139 : 106-112.
36. **SADY S.P. and KATCH V.L.** (1981). Relative endurance and physiological responses: a study of individual differences in prepubertal boys and adult men. *Res. Q.* 52: 246-255.
37. **SADY S.P., KATCH V.L., VILLANACCI J.F. and GILLIAN T.B.** (1983). Children-adult comparisons of oxygen uptake and heart rate kinetics during submaximum exercise. *Res. Q.* 54: 55-59.
38. **SEMPE M., PEDRON G. et ROY-PERNOT M.P.** (1979). *Auxologie : méthodes et séquences*. Ed. : Théraplix, Paris, 205 p.
39. **TANNER J.M.** (1962). Growth at adolescence (2nd ed. *Oxford, Blackwell Scientific Publications*.
40. **WEINEK J.** (1998). *Biologie du sport*. Ed.: Vigot, 783 p.