

Effet de la maturation pubertaire sur le développement de la puissance anaérobie chez des collégiens algériens de 11-16 ans

Belkacem Khiat,
Institut de l'Education Physique et Sportive, USTO MB,
BP1505, ElMnaouar, 31000 Oran ;

Résumé :

Le but de notre étude longitudinale était d'examiner le profil d'évolution de la puissance anaérobie durant les différents stades de la puberté.

92 collégiens garçons sédentaires âgés de 11 à 16 ans ont consenti à suivre durant 2 années le protocole qui a été réalisé au sein de leur établissement scolaire. On a procédé à la mesure des différents indices anthropométriques. Les stades de la maturation ont été estimés selon la classification de Tanner. L'évaluation du processus anaérobie a été faite grâce au test de force-vitesse de Vandewalle. Les résultats montrent que la majorité des indices morphologiques de la population étudiée ont évolué très significativement du premier au quatrième stade pubertaire.

Le passage du second au troisième stade pubertaire semble déterminant dans l'évolution des principaux paramètres morphologiques et physiologiques de l'effort. Du stade 1 au stade 4 il y a eu une évolution très significative ($p < 0,001$) de la Puissance Anaérobie Maximale (Wanmax) et de la Force Maximale (Fo). Chez les garçons le passage du second au troisième stade pubertaire semble déterminant dans l'évolution des principaux paramètres morphologiques et physiologiques de l'effort.

Mots clés : stades pubertaires – Puissance anaérobie – collégiens- indices anthropométriques ;

المخلص :

كان هدف هذه الدراسة الطولية هو البحث حول تطور القدرة اللاهوائية خلال مراحل البلوغ للذكور. 92 تلميذ سنهم يتراوح بين 11 و 16 سنة وافقوا متابعة التجربة داخل مؤسستهم لمدة سنتين. قمنا بقياس مختلف الأبعاد الأنثروبومترية. مراحل البلوغ قيست حسب تصنيف Tanner. وقد تم تقييم القدرة اللاهوائية من خلال اختبار قوة -سرعة Vandewalle. تظهر النتائج أن غالبية المؤشرات المورفولوجية لأفراد العينة تطورت بشكل كبير من أول من مرحلة البلوغ الأولى إلى المرحلة الرابعة. الانتقال من مرحلة البلوغ الثانية إلى الثالثة يبدو حاسما في تطور مؤشرات الجهد الرئيسية المورفولوجية والفسولوجية. من المرحلة 1 للبلوغ إلى المرحلة 4 كان هن اكتغير دال ($p < 0.001$) بالنسبة للقدرة اللاهوائية (Wanmax) وأيضا الحد الأقصى للقوة (Fo). عند الفتيان المور من المرحلة الثانية للبلوغ إلى المرحلة الثالثة يبدو حاسما في تطور المؤشرات الرئيسية المورفولوجية والفسولوجية للجهد.

الكلمات المفتاحية: مراحل البلوغ – القدرة اللاهوائية – تلاميذ المتوسط – المؤشرات الأنثروبومترية.

SUMMARY

The purpose of this longitudinal study was to analyse the evolution of boy's maximal anaerobic power according to their biological maturation.

92 sedentary schoolboys aged 11 to 15 years old has been followed during two years. The puberty age was evaluated according to Tanner's classification. We proceeded to the measurement of the anthropometric parameters. The evaluation of the anaerobic process was done through of force-velocity test Vandewalle. Our results reveal that the majority of the morphological indicators of the population have evaluated very significantly from puberty stage 1 to stage 4. The transition from the second to third pubertal stage seems determining in the evolution of major morphological and physiological parameters. From stage 1 to stage 4 there was a very significant development ($p < 0,001$) maximal anaerobic power (Wanmax) and maximal strength (Fo).

The passage from the second to third pubertal stages seems crucial in the evolution of major morphological and physiological parameters of the effort.

Key words: puberty stages - anaerobic power – schoolboys - anthropometric parameters

1. Introduction

L'enfance et l'adolescence, en tant que périodes de transition vers l'état adulte, présentent une série de particularités importantes qui jouent un rôle dans les possibilités d'effort physiques et psychiques.

Les vitesses de croissance et de maturation diffèrent parmi les enfants. Une variété de facteurs peut influencer la croissance et la maturation telle que l'héritage génétique, l'histoire nutritionnelle et l'état de santé général. Concernant les capacités d'effort, il semble que la période pubertaire entraîne des modifications sensibles et distinctes du potentiel physique à même âge chronologique (GRODJINOVSKYA A. and BAR-OR O. 1984 ; MURASE Y., 1981 ; L Aires et coll., 2010). A l'opposé 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 à divers moments.

Sur le plan physiologique l'enfant pré-pubère se caractérise par un métabolisme aérobie relativement très développé par rapport à l'adulte. Les possibilités maximales aérobies ainsi que les activités enzymatiques musculaires de type oxydative (cycle de Krebs) sont égales et même le plus souvent supérieures à celles de l'adulte. Au contraire le métabolisme anaérobie lactique est communément considéré comme peu efficace et immature aux âges pré-pubères. La puissance maximale caractérise cette filière énergétique et sa mesure présente depuis longtemps un intérêt certain dans le suivi et l'amélioration des aptitudes physiques anaérobies dans différents sports. Par ailleurs le métabolisme anaérobie des enfants est relativement peu étudié ; pourtant, l'activité physique spontanée de l'enfant est en grande partie constituée de sprints courts où le métabolisme anaérobie est largement sollicité. La mesure de la puissance du métabolisme anaérobie prend toute son importance chez les enfants puisque c'est la période idéale pour détecter les jeunes talents et les orienter vers des sports explosifs. L'augmentation de la puissance anaérobie lactique et alactique a été constatée en fonction de l'âge (GRODJINOVSKYA A. and BAR-OR O., 1984 ; MURASE Y., 1981). Certaines recherches récentes remettent en cause cette immaturité du système anaérobie pendant l'enfance (Ratel S. et Martin V., 2012). Les activités enzymatiques musculaires glycolytiques sont toujours plus faibles que celles de l'adulte. L'aptitude anaérobie, à la différence des aptitudes aérobies semble étroitement liée à la masse musculaire, de même qu'à d'autres facteurs tels que l'architecture musculaire, la composition des fibres, la disponibilité des substrats, l'accumulation des métabolites (acide lactique), les cycles métaboliques et leurs niveaux d'activité (KEMPER H.C.G, 1985 ; TANNER J.M., 1962).

Les efforts intenses et répétés, avec des intensités supramaximales (> VO₂max), sont fréquemment rencontrés dans les sports collectifs et sont surtout spontanément réalisés par les enfants. L'adaptation et l'évaluation des séances d'entraînement ou d'éducation physique et sportive pour un rendement physique meilleur sans porter préjudice à la santé des jeunes pratiquants est l'un des soucis majeurs des éducateurs sportifs. Afin de rendre compte des effets de la puberté et considérant les importants changements qui accompagnent l'adolescence nous avons étudié la puissance maximale anaérobie en fonction des cinq stades pubertaires de la classification de Tanner (1962). Ces stades prennent en compte l'état de maturation des organes sexuels et de développement du système pileux .

MATERIELS ET METHODES :

1. Sujets :

Quatre-vingt-douze (92) collégiens garçons sédentaires âgés de 11 à 16 ans ont participé à l'étude après le consentement des parents. Le protocole a été réalisé au sein de leur établissement scolaire.

2. Protocol :

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 deux années :

2.1. Les mesures anthropométriques suivantes ont été effectuées :

- évaluation de la Taille à l'aide d'une toise ;
- évaluation du Poids du corps à l'aide d'une balance de type HB-LO5 ;

mesure des périmètres du corps (périmètres maximaux du biceps, de la cuisse, du mollet) à l'aide d'un mètre ruban ; mesure des quatre plis cutanés (bicipital, tricipital, sous-scapulaire, sus-iliaque) avec une pince à plis cutanés (type Harpenden) ; - calcul du poids maigre et du pourcentage de masse grasse grâce à un logiciel .

Les mesures anthropométriques ont toutes été réalisées sur la partie gauche du corps par le même examinateur.

2.2. détermination des stades pubertaires selon la classification de Tanner (1962). Ces indices distinguent cinq niveaux de maturation en caractérisant les modifications sexuelles subies par l'organisme en voie de croissance :

- *stade 1* : existence de duvet pubien. Testicules, scrotum et pénis de même taille que dans l'enfance ;
- *stade 2* : quelques poils épars, longs, droits ou bouclés à la base du pénis. Augmentation du volume du scrotum et des testicules. Volume du pénis peu ou pas changé ;

- *stade 3* : poils plus denses, plus épais et plus bouclés s'étendant très peu au-dessus de la symphyse pubienne. Scrotum et testicules augmentent ainsi que la longueur du pénis ;

- *stade 4* : aspect adulte, mais la zone pileuse reste moins étendue (pas d'extension aux cuisses). Elargissement du pénis et développement du gland. Testicules et scrotum continuent de croître. Coloration foncée ;

- *stade 5* : la pilosité a l'aspect adulte en localisation et en quantité. Extension de la zone pileuse aux cuisses. Organes génitaux adultes.

2.3. évaluation du processus anaérobie par le test de Force-Vitesse de Vandewalle (1989) : pour le test de charge-vitesse, nous avons utilisé un ergocycle à poids de type Monark (modèle 894E, Suède). Celui-ci était relié à un microordinateur qui permet de calculer entre autre le pic de puissance développée. L'épreuve est effectuée sur bicyclette ergométrique dont la roue subit une force de freinage provoquée par la mise en tension d'une sangle de façon proportionnelle au poids suspendu à son extrémité. Une résistance de 4 Kg est imposée au premier effort et va croître de 2 en 2 pour les efforts suivants jusqu'à 12 Kg. Le sujet réalise un sprint de 6 secondes en conservant la position assise. Cinq épreuves, avec une résistance différente, sont effectuées. L'épreuve est arrêtée quand la vitesse atteint 90 tours/mn. Une récupération passive de 3 à 5 minutes est obligatoire entre les différents paliers. Les valeurs de Fo (Force maximale), Vo (Vitesse maximale) et Wanmax (Puissance maximale), sont données directement sur un graphe.

3. **Statistique** : Les 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 différents stades de la maturation biologique.

Stades Pubertaires	AGE (an)	TAILLE (cm)	POIDS (kg)	% M.G.	PoidsMaigre (kg)
S 1 (n= 13)	12.30	150.46	43.38	10.74	38.42
	± 0,6	± 7,13	± 8,26	± 4,84	± 5,63
S 2 (n= 33)	13.15	155.30	44.36	7.72	40.24
	± 0,7	± 7,32	± 8,13	± 4,63	± 6,35
S 3 (n= 23)	14.04	163.11	52.61	9.8718	46.49
	± 0,8	± 6,91	± 9,19	± 7,84	± 6,80
S 4 (n= 14)	14.99	168.00	56.31	8.72	50.93
	± 0,6	± 5,7	± 6,88	± 2,55	± 5,87

- **Résultats :**

Stades Pubertaires	Wanmax (watts)	Fo (kgf)	Vo (trs/mn)
S 1 (n= 13)	265.97	7.56	173.12
	± 64,03	± 2,28	± 83,35
S 2 (n= 33)	327.02	9.65	147.61
	± 100,55	± 2,41	± 20,35
S 3 (n= 23)	448.61	10.92	172
	± 104,72	± 2,38	± 21,30
S 4 (n= 14)	544.50	14.38	168.51
	± 116,46	± 5,87	± 20,88

Tableau 1. Les indices morphologiques selon les stades pubertaires

Concernant les paramètres morphologiques comme le montre le tableau 1, nous avons constaté une évolution très significative de tous les indices du premier au quatrième stade pubertaire (S1 à S4) sauf pour le pourcentage de matière grasse (%M.G.).

Tableau 2. Les indices physiologiques selon les stades pubertaires.

D'une manière générale on a constaté (tableau 2) que du stade 1 au stade 4 il y a eu une évolution très significative ($p < 0,001$) de la Puissance Anaérobie Maximale (Wanmax) et de la Force Maximale (Fo). L'évolution de la Vitesse Maximale (Vo) était moins significative ($p < 0,05$) durant ce même intervalle.

Les augmentations les plus significatives (tableau 3) ont été relevées de S2 à S4, particulièrement entre les stades 2 et 3 pour les indices de la PMNA et de la Vo ($P < 0,001$), et à un degré moindre la Fo ($P < 0,05$).

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
PMNA	4.10 *	22.33 ***	7.58 **	19.66 ***	24.29 ***	25.88 ***
F0	7.19 **	4.31 *	7.51 **	8.96 ***	10.29 ***	11.75 ***
V0	2.76 ns	20.84 ***	0.27 ns	3.65 *	11.71 ***	2.92 *

Tableau 3 : Analyse de variance à un facteur, évolution des indices physiologiques selon les stades pubertaires.

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

Discussion:

Les résultats montrent que la majorité des indices morphologiques de la population étudiée ont évolués très significativement du premier au quatrième stade pubertaire. Ces résultats sont similaires à ceux constatés par différents auteurs (ASTRAND P.O., 1976 ; PINEAU J.-C., 1991 ; WELTMAN A. et coll., 1986 ; ZAUNER C.W. MAKSUD M.G. and MELICHNA J. , 1989).

Cette évolution est plus significative entre les stades 2 et 3, ce qui correspond au moment du pic de croissance souvent signalé par plusieurs études (BUCKLER J., 1990 ; KEMPER H.C.G., 1985; WELTMAN A. et coll., 1986 ; Ortega F.B. et coll., 2011).

Par contre on note l'absence d'une évolution significative du pourcentage de matière grasse (%M.G.) et sa relative stabilité telles que signalées par certains chercheurs (ARMSTRONG N. et coll., 1995 ; HERTOUGH C., MICALLEF J.P. et MERCIER J., 1992). 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.

On relève un accroissement très significatif ($p < 0,001$) de la puissance maximale anaérobie (PMNA) particulièrement entre les stades 2 et 3 tel qu'observé dans plusieurs études (HERTOUGH C., MICALLEF J.P. et MERCIER J., 1992 ; LACOUR J.R., 1992 ; DELGADO A., ALLEMANDOU A. and PERES G., 1992 et 1993 ; Van Praagh E., 2007). Quant à la force maximale (Fo) son pic d'augmentation ($p < 0,001$) se situe entre les stades 3 et 4, c'est à dire un peu plus tard que celui de la Wanmax comme cela a été noté par plusieurs auteurs (KEMPER H.C.G., 1985 ; PINEAU J.-C., 1991 ; BUCKLER J., 1990).

Ainsi ces indices (Wanmax et Fo) peuvent être des indicateurs fidèles pour l'orientation sportive, le suivi et l'évaluation de l'effet de l'entraînement durant la puberté (Van Praagh E., 2007 ; MaylisT AMAS et coll., 2002 ; Van Praagh E, Doré E., 2002).

Par ailleurs l'évolution très significative ($p < 0,001$) de la vitesse maximale (Vo) entre les stades 2 et 3 parallèlement avec l'importante augmentation de la Wanmax et de la Fo est révélatrice des importantes modifications biochimiques musculaires en relation avec le métabolisme de la glycolyse anaérobie décrites dans la littérature (HERMANSEN L. and OSEID S., 1971 ; Duché P., Bedu M. et Van Praagh E., 2001 ; MELICHNA J. et coll., 1983). Dans ce sens plusieurs auteurs (PINEAU J.-C., 1991 ; WELTMAN A.

et coll., 1986) ont montré qu'à ce stade de la maturation sexuelle, la sécrétion hormonale, particulièrement l'augmentation du taux de testostérone chez les garçons conditionne les grands changements qui apparaissent dans la force maximale et la force-vitesse ainsi que la capacité anaérobie. La maturation peut être un facteur explicatif de la progression de la puissance anaérobie alactique (Duché P., et coll., 2001). Selon VanPraagh (1990) cette puissance chez le jeune enfant est significativement plus basse que chez l'adolescent ou l'adulte en valeur absolue comme en valeur relative. La croissance de la production d'androgène est presque simultanée à celle de la force maximale. La phase pubertaire est une période charnière qui correspond à une production brusque d'hormones sexuelles dont les vertus anabolisantes permettent le développement de la musculature (ARMSTRONG N. et coll., 2000 ; Degache F. et coll., 2010). Aussi un entraînement adapté en force et particulièrement en vitesse à cette étape pubertaire est d'une importance capitale pour l'évolution ultérieure de la performance de l'adolescent (KEMPER H.C.G. et Van de KOP H., 1995 ; KHIAT B. et MEHDIOUI H., 2000 ; MANNO R., 1990 ; AMAS M.T. et coll., 2002).

Conclusion :

Il apparaît que les dispositions génétiques semblent intervenir pour une part non négligeable dans la détermination des performances physiques nécessitant un métabolisme aérobie et/ou anaérobie.

Le passage du second stade pubertaire au troisième semble déterminant dans l'évolution des principaux paramètres morphologiques et physiologiques de l'effort (Tomkinson GR., 2007 ; Almuzaini KS., 2007).

Pour des raisons éthiques et méthodologiques il y a peu d'études (en particulier longitudinales) sur les capacités anaérobies des enfants et adolescents. Dans l'avenir l'utilisation de la technique de résonance magnétique nucléaire (RMN) devrait offrir des possibilités intéressantes d'investigation du métabolisme d'effort chez l'enfant.

L'évaluation objective des aptitudes physiques 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/ou orienter la préparation du jeune sportif d'une manière plus adaptée à ses potentialités.

Références :

- Almuzaini KS.(2007)Muscle function in Saudi children and adolescents: relationship to anthropometric characteristics during growth. *PediatrExercSci ; Vol. 19 (3), pp.319-33.*
- AMAS M.T., ERRON F.F., NOURY-DESSVAUX B., ABRAHAM P., SAUMET J.L. (2002). Influence de la maturation et de l'entraînement sur la puissance maximale anaérobie alactique. *Cinésiologie n° 205- 41^e année- p 109.*
- L. Aires, LB Andersen, D Mendonça, C Martins, G Silva, J Mota (2010); A 3-year longitudinal analysis of changes in fitness, physical activity, fatness and screen time *ActaPædiatrica* n° 99, pp. 140–144.
- ARMSTRONG N., KIRBY J., McMANUS A.M. et WELSMAN J.R. (1995) ,Aerobic fitness of prepubescent children. *Ann. Hum. Biol. 22: 427-441.*
- ARMSTRONG N; WELSMAN J. R.; WILLIAMS C. A.; KIRBY B. J.(2000)Longitudinal changes in young people's short-term power output.*Medicine & Science in Sports & Exercise, 32(6):1140-1145.*
- ASTRAND P.O. (1976),The children in sport and physical activity-physiology. *J.G. Albinson and G.M. Andrew (ed.). Child in sport and physical activity. Baltimore: University Park Press, pp. 19-33.*
- BUCKLER J. (1990)A longitudinal study of adolescent growth. *Springer verlag, London, Berlin, 430 p.*
- Degache F., Richard R., Edouard P., Oullion R., Calmels P. (2010)The relationship between muscle strength and physiological age: A cross-sectional study in boys aged from 11 to 15. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 53 : 180–188.*
- DELGADO A., ALLEMANDOU A. and PERES G. (1992) Evolution des qualités anaérobies et ages civil, statural et pondéral et stades pubertaires. *Sciences & Sports, 7 : 37-38.*
- DELGADO A., ALLEMANDOU A. and PERES G. (1993) Changes in the characteristics of anaerobic exercise in upper limb during puberty in boys. *Eur. J. Appl. Physiol., 66 : 376-380.*
- Duché P., Bedu M. et Van Praagh E. (2001) Explorations des performances anaérobies de l'enfant. Bilan de 30 ans de recherches. *STAPS, 54 : 109-130.*
- GRODJINOVSKYA A. and BAR-OR O. (1984) Influence of added physical education hours upon anaerobic capacity, adiposity, and grip strength in 12-13 years old children enrolled in sports class, *in Ilmarinen J. Valimaki I. (eds): Children and Sport. Berlin, Springer Verlag, pp. 162-169.*
- HERMANSEN L. and OSEID S. (1971) Direct and indirect estimation of oxygen uptake in pre-pubertal boys. *ActaPaediatrica Scandinavia, 217: 18-23 (suppl.).*

- HERTOUGH C., MICALLEF J.P. et MERCIER J. (1992) Puissance anaérobie maximale chez l'adolescent (étude transversale). *Sciences et Sports*, 7 : 207-213.
- KHIAT B. et MEHDIOUI H. (2000) Incidence des paramètres physiologiques de l'effort sur l'orientation de l'entraînement selon l'âge pubertaire. *Sciences et Technologie du Sport*, n°3 :34-40.
- KEMPER H.C.G. (1985) Growth, health and fitness of teenagers. *Medicine and Sport Science*, vol. 20, Ed. *Hebblink*: 202 p.
- KEMPER H.C.G. et Van de KOP H. (1995) Entraînement de la puissance maximale aérobie chez les enfants pré-pubères et pubères. *Science et Sports*, 10 : 29-38.
- LACOUR J.R. (1992) Biologie de l'exercice musculaire. *Edition : Masson*, 199 p.
- MaylisT AMAS et coll. (2002) Influence de la maturation et de l'entraînement sur la puissance maximale anaérobie alactique. *Cinésiologie n° 205- 41^e année- p 109*
- MANNO R. (1990) Les bases de l'entraînement sportif. *Edition : Revue E.P.S.*,223 p.
- MELICHNA J., HAVLICKOVA L., MACKOVA E., SPYNAROVA S. and NOVAK J. (1983) The composition of the muscle fiber types in junior middle-distance runners. *Physician and Physical Education* 6: 28-31.
- MURASE Y., KOBAYASHI K., KAMEI S. and MATSUI H. (1981) Longitudinal study of aerobic power in superior junior athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13: 180-84.
- Ortega F.B. et coll. (2011) Physical fitness levels among European adolescents: the HELENA study. *Br J Sports Med* n°45:20–29.
- PINEAU J.-C. (1991) Importance de la puberté sur les aptitudes physiques des garçons scolaires. *Bull. et Mém. De la Soc. d'Anthrop. De Paris*, t. 3, n°3-4 : 275-286.
- Ratel S., Martin V. (2012) Les exercices anaérobies lactiques chez les enfants :la fin d'une idée reçue ? *Science & Sports* n°27, 195—200.
- TANNER J.M. (1962) Growth at adolescence (2nd)ed. *Oxford, Blackwell Scientific Publications*.
- Tomkinson GR. (2007) Global changes in anaerobic fitness test performance of children and adolescents (1958-2003). *Scand J Med SciSports* , Oct; Vol. 17 (5), pp. 497-507.
- Van-PraaghE., (1990) Evolution du métabolisme aérobie et anaérobie au cours de la croissance, *revue S.T.A.P.S*, p291-306
- Van Praagh E, Doré E. (2002) Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med* n°32:701–28.
- Van Praagh E. (2007) Physiologie du sport: enfant et adolescent. *De Boeck Supérieur*, 288 pages.

- VANDEWALLE H. et FRIEMEL F. (1989) Tests d'évaluation de la puissance maximale des métabolismes aérobie et anaérobie. *Science et Sports*, 4 : 265-279 .
- WELTMAN A., JANNEY C., RIAN S C.B. and al. (1986) The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 629-638, .
- ZAUNER C.W., MAKSUD M.G. and MELICHNA J. (1989) Physiological considerations in training young athletes. *Sports Medicine* 8 (1): 15-31.