

Etude de la croissance longitudinale de la stature d'adolescentes en fonction de l'âge et de la puberté

Longitudinal growth of height in female subjects according to chronological age and puberty

Jean-Claude Pineau

UMR 5288, Laboratoire d'Anthropologie Moléculaire, CNRS. Faculté de Chirurgie Dentaire, 1 rue Maurice Arnoux, 92120 Montrouge, France. E-mail: jean-claude.pineau@parisdescartes.fr

Mots clés: croissance, stature, âge au pic de croissance, filles.

Key-words: growth, height, age at peak height velocity, puberty, girls.

Résumé

Afin de préciser le suivi de la croissance individuelle d'adolescentes, nous avons développé de nouvelles courbes longitudinales de la stature en tenant compte de l'âge chronologique et de la maturation biologique.

Les relevées de la stature de 154 filles âgées de 11 à 17 ans ont été obtenues deux fois par an dans des établissements scolaires de la région parisienne sur une période consécutive de 6 ans entre 2008 et 2014. Le degré de maturation pubertaire est obtenu à partir de l'âge au pic de croissance. L'âge à la ménarche a été systématiquement relevé. Les valeurs de la stature ont été transformées en valeurs de déviation standard (Zstat) et la canalisation a été calculée à partir de l'amplitude de la plus grande des canaux de croissance au plan individuel.

Des différences statistiquement significatives entre les âges au pic de croissance nous ont permis de classer les adolescentes en 3 catégories selon leur maturation biologique: 16,9% des adolescentes sont en avance pubertaire, 63,6% à puberté standard et 19,5% à puberté retardée. Il existe une forte liaison ($r=0,94$) entre l'âge au pic de croissance et l'âge à la ménarche. La canalisation des sujets en retard pubertaire croît significativement de 0,46 Zstat à 0,99 Zstat si l'on utilise la courbe de croissance moyenne de la stature à puberté indifférenciée. De même, la canalisation des filles en avance pubertaire croît également de 0,44 Zstat à 0,71 Zstat si l'on utilise la courbe moyenne de la stature des filles à puberté indifférenciée.

Les nouvelles courbes de croissance de la stature obtenues à partir de l'âge chronologique et de la maturation nous permettent d'obtenir un suivi précis de la croissance individuelle contrairement à la cinétique de croissance observée à puberté indifférenciée.

Abstract

We developed height growth curves using chronological age and biological maturation from longitudinal data to accurately monitor individual growth. Height measurements of 154 girls aged from 11 to 17 years were obtained from biannual visits to schools located in the Soissons area over a period of 6 consecutive years between 2008 and 2014. The maturity was based on the age of peak height velocity (APHV). We found a high correlation between APHV and age at menarche. Height data were transformed into height standard deviation scores (SDS) and canalisation obtained by the width of an individual's growth channel.

Significant differences between APHV enabled us to classify the teenagers into three categories according to their biological maturity: 16,9% of adolescents with advanced puberty, 63,6% with standard puberty and 19,5% with delayed puberty.

The canalisation of the delayed puberty group increases significantly from 0,46 SDS to 0,99 SDS when we use the undifferentiated puberty curve for this group. Likewise, canalisation of the advanced puberty group also increases from 0,44 SDS to 0,71 SDS.

The new height growth curves developed from age and maturation enables us to accurately monitor individual growth contrary to the kinetics of growth observed in undifferentiated puberty.

Introduction

La croissance au cours de la puberté comprends une phase d'accélération suivie d'une phase de décélération puis un arrêt de la croissance (Ferrandez *et al.*, 2009). Les études longitudinales ont tendance à présenter les données selon un groupe unique ou selon trois groupes de maturation correspondant aux sujets en avance pubertaire, intermédiaire ou en retard pubertaire (Tanner *et al.*, 1983; Largo *et al.*, 1983; Hagg *et al.*, 1991). D'autres auteurs ont établi des courbes de percentiles de la stature et du poids en tenant compte de l'âge chronologique et du pic de croissance (Sempé *et al.*, 1979; Prader *et al.*, 1989).

Les stades de maturation ont été définis à partir de l'âge au pic de croissance (Ferrandez *et al.*, 2009). L'idée d'utiliser la canalisation ou les courbes parallèles de centiles au cours de la croissance a été tout d'abord publié par Tanner qui montra que la corrélation entre la stature adulte et les statures de mêmes individus enfants sont comprises entre 0,7 et 0,8 (Tanner, 1962). Le concept de canalisation dans la croissance humaine est couramment accepté (Hermanussen *et al.* 2001, 2002). Les enfants qui ont une puberté accélérée ou retardée peuvent présenter des déviations considérables de leur stature par rapport à la stature moyenne (Butler *et al.*, 2001; Gasser *et al.*, 2001).

Le principal objectif de cette étude consiste à obtenir une plus grande précision du suivi de la croissance individuelle de la stature. Pour cela, nous avons développé de nouvelles courbes de croissance de la stature en tenant compte de l'âge chronologique et de la maturation biologique à partir de données longitudinales. Utilisant le concept de canalisation, nous avons comparé les scores en déviation standard de chaque individu selon sa puberté avancée, standard ou retardée (Tanner, 1986).

Méthodes

Dans le cadre d'un programme ANR, nous avons développé de nouvelles courbes de croissance en fonction de l'âge chronologique et de la maturation à partir d'une étude longitudinale portant sur 154 filles âgées de 11 à 17 ans. L'étude longitudinale s'est déroulée sur une période consécutive de 6 ans de 2008 à 2014. La présente étude a été effectuée pendant la durée scolaire dans 3 écoles de la région soissonnaise dans le département de l'Aisne en accord avec le chef d'établissement, le médecin scolaire et les responsables académiques des autorités du département de l'Aisne. Pour assurer la durabilité de la collecte de données d'étude plus de cinq ans, tous les participants et parents ont accordé leur consentement oral et écrit pour participer à cette étude. La

permission du conseil médical et des autorités de l'éducation nationale de l'aine ont également été établis conformément à la Déclaration de Helsinki.

Les filles proviennent de différents milieux socioprofessionnels: Travailleurs et salariés; ouvriers qualifiés; et cadre moyen. De plus, nous avons précisé l'ethnie des sujets. Seulement 2% sont des immigrés provenant de l'Afrique du Nord. Ainsi, l'échantillon peut être considéré comme étant très homogène avec une large majorité de filles caucasiennes.

Nous avons respecté les critères d'inclusions concernent les individus en bonne santé et les tranches d'âge spécifique à cette étude dans les écoles de la région soissonnaise. Les critères d'exclusion concernent les filles qui présentent une stature pour l'âge exprimée en Zscore inférieure ou supérieure à 3 déviations standards.

Les données longitudinales ont été recueillies deux fois par an. La base de données porte essentiellement sur la stature, l'âge chronologique et l'âge à la ménarche. La maturation est basée sur l'âge au pic de croissance (APC). La connaissance de l'APC constitue le critère déterminant pour établir de nouveaux standards basés sur 3 groupes constitués chacun par des individus à puberté avancée, standard ou retardée. D'une façon complémentaire, nous avons recueilli l'âge à la ménarche (Lalys *et al.*, 2014). La stature a été mesurée en position debout standard. Deux mesures ont été relevées et une troisième lorsque les deux mesures diffèrent de plus de 4 mm. Toutes les mesures ont été prises par le même opérateur tout au long de l'étude.

Trois courbes moyennes de la stature obtenues à partir des données longitudinales ont été construites pour chaque groupe de filles à puberté avancée, standard et retardée. Pour chaque série des mesures individuelles, les valeurs de la stature ont été transformées en scores de déviation standard (Zstat) où Zstat est calculé en divisant la différence entre la mesure individuelle et la valeur moyenne au même âge par l'écart type de l'échantillon à cet âge.

Nous avons défini la canalisation par l'amplitude extrême du canal de croissance correspondant à la différence entre la valeur maximale et minimale de la stature en Zstat à partir de la série de mesures individuelles recueillies tout au long de l'étude longitudinale (Hermanussen *et al.*, 2001). Par exemple, lorsque les valeurs extrêmes de la stature en Zstat sont comprises entre -0.95 et +0.35, l'amplitude de son canal de croissance où canalisation est de 0.6 Zstat (valeur absolue de la différence des valeurs extrêmes en Zstat). La canalisation a été calculée pour chaque fille à partir de la courbe moyenne établie en fonction de leur maturation pubertaire. De plus, pour chaque individu, la canalisation a été comparée entre les sujets à puberté avancée ou retardée avec la canalisation calculée à partir de la courbe moyenne de la stature à puberté indifférenciée.

Analyse statistique

Les résultats sont indiquées selon la moyenne \pm l'écart type avec l'amplitude (max-min). Le test apparié "t" a été utilisé pour comparer la canalisation entre les valeurs calculées à puberté avancée ou retardée avec celles obtenues à puberté indifférenciée. le seuil de probabilité p plus petit que 0,05 est considéré comme seuil de signification. Toutes les analyses statistiques ont été effectuée à partir du logiciel Statistica.

Résultats

Les valeurs moyennes et écart types de la stature pour l'âge des adolescentes sont regroupées dans le tableau 1.

Le tableau 2 donne les valeurs moyennes écart types et amplitude des variables mesurées sur l'échantillon total. Nous observons une grande variabilité de la stature entre 11 et 15 ans.

La figure 1 représente les 3 courbes de croissance élaborées selon la puberté en avance, standard ou retardée. Au même âge, nous constatons des différences significatives de la stature moyenne entre 11 ans et demi et 15 ans. A la fin de la puberté les valeurs moyennes convergent vers 165 cm.

Le tableau 3 montre la répartition des âges au pic de croissance entre les filles à puberté avancée, standard et retardée.

Classes d'âge (mois)	Puberté indifférenciée	Ecart type	Retard pubertaire	Puberté standard	Avance pubertaire
[132-138[	149,0	6,4	140,4	149,1	153,8
[138-144[	151,2	6,5	143,7	151,3	155,6
[144-150[	153,1	6,8	146,8	153,3	157,2
[150-156[	155,1	7,1	149,7	155,2	158,7
[156-160[	157,0	7,5	152,4	157,0	160,0
[160-166[	158,1	7,3	154,0	158,0	160,7
[166-172[	159,4	6,9	156,3	159,5	161,8
[172-178[	160,9	6,6	158,3	160,8	162,7
[178-184[	161,9	6,0	160,1	162,0	163,4
[184-192[	163,1	5,9	161,7	163,0	164,0
[192-198[	164,0	5,7	163,5	164,0	164,6
[198-204[	164,6	5,6	164,6	164,7	164,8

Table 1. Moyennes et écarts-types de la stature des filles (cm) en fonction de la maturation pubertaire.
Table 1. Means values and standard deviation of height (cm) obtained for the different ages and puberty groups.

Variables	Mean ± SD	Range
Age (mois)	171,4 ± 13,1	144 - 210
Stature (cm)	166,6 ± 9,8	139 - 195

Tableau 2. Moyennes et écarts-types des mesures relevées sur le groupe total (n=154).
Table 2. Mean and standard deviation values in the total sample (n=154).

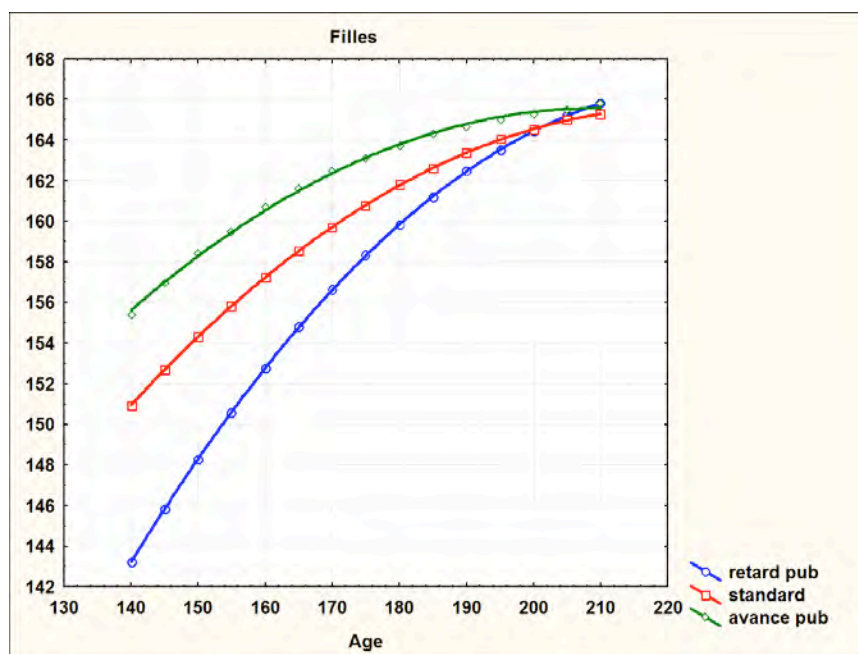


Figure 1. Courbes de croissance de la stature d'adolescentes en fonction de l'âge chronologique et de la maturation biologique.

Figure 1. Height growth curves of girls according to the chronological age and the biological maturity.

	Age au pic de croissance (mois)		Age à la ménarche (mois)	
	m ±σ	min-max	m ±σ	min-max
Retard pubertaire (n=26)	169,5 ± 2,5	165 - 177	171,3 ± 4,0	168 - 180
Puberté standard (n=98)	152,4 ± 5,7	140 - 164	152,1 ± 7,3	138 - 167
Avance pubertaire (n=30)	135,3 ± 3,5	125 - 139	133,9 ± 4,1	123 - 139
Puberté indifférenciée (n=154)	152,4 ± 3,5	125 - 177	150,7 ± 12,4	123 - 180

Table 3. Moyennes et écarts types de l'APC et de l'âge à la ménarche pour chaque groupe de maturation pubertaire.
Table 3. Mean and standard deviation of the APC and age of menarche for each maturation group.

Des différences significatives de l'APC sont observées entre les groupes de maturations pubertaires. Ces différences d'APC nous ont conduit à classer les filles en trois groupes en fonction de leur maturation biologique. Nous avons recensé 26 adolescentes (16,9%) à puberté retardée, 98 à puberté standard (63,6%) et 30 à puberté avancée (19,5%). De plus, ce tableau 3 donne les amplitudes d'âge de chaque groupe de sujets à puberté distincte. Nous constatons des écarts significatifs ($p < 0,05$) du pic de croissance et de l'âge à la ménarche entre les différents groupes pubertaires établis. Il existe une liaison étroite et significative ($r = 0,94$; $p < 0,01$) entre l'âge au pic de croissance et l'âge à la ménarche. De plus, les amplitudes extrêmes de l'âge au pic de croissance en fonction des 3 groupes à puberté distincts ne présentent pas d'intersection, ce qui nous permet de les différencier aisément.

La canalisation des filles à puberté retardée, standard ou avancée est indiquée dans le tableau 4. Nous observons des différences significatives au seuil $p < 0,01$ entre la canalisation des filles à puberté retardée versus la puberté indifférenciée et entre la canalisation des sujets en avance pubertaire versus la puberté indifférenciée.

Amplitude maximale des canaux de croissance (canalisation)	N	moyenne	σ	t test	p
Puberté retardée vs puberté indifférenciée	26	0,46	0,20	- 14,0	<0,01
	26	0,99	0,29		
Puberté indifférenciée	98	0,48	0,20		
Puberté avancée vs puberté indifférenciée	30	0,44	0,22	-7,8	<0,01
	30	0,71	0,28		

Tableau 4. Comparaison des amplitudes maximales des canaux de croissance entre les filles à puberté retardée et les filles à puberté avancée versus les filles à puberté indifférenciée.

Table 4. Comparison of the canalisation between the delayed or the advanced puberty group versus the undifferentiated puberty group.

Discussion

Cette étude montre que la connaissance de la maturation biologique définie à partir de l'âge au pic de croissance nous permet de différencier les filles à puberté retardée, standard ou avancée. En conséquence, les nouvelles courbes de croissance basées sur ces trois groupes nous permettent d'obtenir une plus grande précision du suivi individuel de la croissance de chaque fille.

Les valeurs moyennes de la stature pour l'âge de la courbe établie à puberté indifférenciée ou à puberté standard est semblable à celle publiée par les Etats Unis (2000 Centers for Disease Control and Prevention (CDC) growth charts for the United States, Kuczmarski *et al.*, 2002). On observe des différences significatives des APC entre les filles à puberté retardée, standard et avancée. La valeur moyennes de l'âge à la ménarche du groupe total de 12,5 ans est sensiblement équivalent à celui calculé par la méthode des probits (Lalys *et al.*, 2014).

Au même âge chronologique, les filles à puberté avancée sont plus grandes que celles à puberté retardée. Les courbes péri-pubertaire de la stature que nous avons élaborées convergent toutes vers 165 cm à 17 ans et cela quelle que soit la maturation pubertaire. Il est probable que ces résultats montrent que la stature finale atteinte ne dépend pas des différentes étapes de la puberté (Vizmanos *et al.* 2001; Tanaka, 1996; Abassi, 1998). Karlberg *et al.* (1987), montrent en utilisant l'âge au pic de croissance que les filles à puberté avancée sont plus grandes avant la puberté mais de taille finale équivalente aux filles à puberté retardée. On observe une évolution séculaire non significative de la stature entre la période 1989 et 2009 caractérisée par une augmentation moyenne de stature de 1,2 cm entre 13 et 17 ans comparée aux données de Sempé *et al.* (1979) ainsi qu'une augmentation significative ($p < 0,05$) de 4,5 cm avec l'enquête de Brus *et al.* (2006) concernant la croissance de 581 filles issues de la Haute Vienne réalisée entre 1976 et 1989.

Dans notre étude, l'âge au pic de croissance est très fortement corrélé avec l'âge à la ménarche ($r = 0,94$; $p < 0,01$). Pour cette raison, dans toute étude transversale, l'âge à la ménarche représente un critère fiable pour déterminer si la croissance d'une fille est retardée, standard ou

avancée. Ces résultats nous permettent de classer les sujets à puberté retardée, standard et avancée sans attendre l'apparition du pic de croissance.

L'utilisation du concept de canalisation décrit par Prader *et al* (1963) et Hermanussen *et al* (2001) nous permet de mesurer le score de la stature en déviation standard pour chaque canal de croissance individuel. Les valeurs moyennes de la canalisation sont inférieures à 0,5 Zstat pour les filles à puberté avancée, standard et retardée. En conséquence, l'utilisation de ces nouvelles courbes de croissance péri-pubertaires nous donne une meilleure canalisation pour les filles en retard et en avance pubertaire.

La canalisation des filles en retard pubertaire croît en moyenne significativement quand on utilise la courbe moyenne de la stature à puberté indifférenciée. Dans ce cas, la largeur des canaux de croissance augmente significativement de 0,46 Zstat à 0,99 Zstat. De la même façon, la canalisation des filles en avance pubertaire croît significativement de 0,44 Zstat à 0,71 Zstat si l'on utilise la courbe moyenne de la stature à puberté indifférenciée pour ce groupe. Dans ces conditions, l'élaboration de nouvelles courbes de croissance associant l'âge chronologique à la maturation pubertaire apparaît assez pertinentes. Hermanussen *et al* (2001) a indiqué qu'un canal de croissance inférieur à 0,5 Zstat est une canalisation acceptable.

A ce jour, les courbes de croissance de référence de la stature ont été établies dans les années 1970 puis actualisées en 2006 par l'Organisation Mondiale pour la Santé (WHO, 2006). Ces courbes nous permettent de calculer des valeurs de percentiles et de Z scores entre 5 et 19 ans. En parallèle de ces standards, d'autres courbes de croissance sont utilisées dans le monde entier (Roelants *et al.*, 2009; Rosario *et al.*, 2011; Juliusson *et al.*, 2009). Toutes ces courbes sont basées uniquement sur la relation entre la stature et l'âge chronologique. En conséquence, les variations de la croissance individuelle de la stature d'un adolescent peuvent être significativement supérieures ou inférieures aux valeurs de ses canaux de croissance obtenus en fonction de sa maturation pubertaire.

Conclusion

Les nouvelles courbes de croissance de la stature associant l'âge civil et la maturation nous apporte une plus grande précision du suivi de la croissance individuelle. La plupart des courbes de référence internationales ne prennent pas en compte la maturation biologique et par conséquent sous-estiment ou surestiment respectivement la croissance biologique des filles en avance ou en retard pubertaire.

Remerciements. Cette étude a été soutenue financièrement par l'Agence Nationale de la Recherche.

Bibliographie

- Abassi, V., 1998, Growth and normal puberty. *Pediatrics*, 102, 7–11.
- Brus, A., Hauspie, R., Panuel, M., Boëtsch, G., 2006, Analyse auxologique de données longitudinales féminines (Châteauponsac, Limousin, France). *Antropo*, 11, 177-187. www.didac.ehu.es/antropo.
- Butler, G.E., Mc KIE, M., Ratcliffe, S.G., 1990, The cyclic nature of prepubertal growth. *Annals of Human Biology*, 17, 177-198.
- Ferrandez, A., Carrascosa, A., Audi, L., Baguer, L., Rueda, C., Bosch-Castané, J, Gussinyé, M, Yeste, D, Labarta, J.I., Mayayo, E., Fernandez-Cancio, M., Albisu, M.A., et Clemente, M., 2009, Longitudinal pubertal growth according to age at pubertal growth spurt onset: data from a Spanish study including 458 children (223 boys and 235 girls). *Journal of Pediatric Endocrinology & Metabolism*, 22, 715-726.
- Gasser, T., Sheehy, A., Molinari, L., Largo, R.H., 2001, Growth of early and late maturers. *Annals of Human Biology*, 28, 328–336.
- Hagg, U., Taranger, J., 1991, Height and height velocity in early, average and late maturers followed to the age of 25: a prospective longitudinal study of Swedish urban children from birth to adulthood. *Annals of Human Biology*, 18, 47–56.

- Hermanussen, M., Grasedyck, L., Kromeyer-Hauschild, K., Prokopec, M., Chrzastek-Spruch, H., 2002, Growth Tracks in prepubertal children. *Annals of Human Biology*, 29, 667-676.
- Hermanussen, M., Largo, R.H., Molinari, L., 2001, Canalisation in human growth: a widely accepted concept reconsidered. *Eur. J. Pediatr.*, 160,163-167.
- Juliusson, P.B., Roelants, M., Eide, G.E., Moster, D., Juul, A., Hauspie, R., Waaler, P.E., Bjerknes, R., 2009. Growth references for Norwegian children. *Tidsskr Nor Laegeforen*, 129, 281–286.
- Karlberg, J., Fryer, J.G., Engstrom, I., Karlberg, P., 1987, Analysis of linear growth using a mathematical model. II. From 3 to 21 years of age. *Acta. Paediatr. Scand. Suppl.* 337, 12–29.
- Kuczmariski, J.R., Ogden, C.L., Grummer-Strawn, L.M., Flegal, K.M., Guo, S.S., Wei, R., Mei,Z., Curtin, L.R., Roche, A.F., Johnson, C.L., 2002. 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat.*, 11, 1–190.
- Lalys, L., Pineau, J.C., 2014, Age at menarche in a group of French schoolgirls. *Pediatrics international*, 56, 601-604.
- Largo, R.H., Prader, A.,1983, Pubertal development in Swiss boys. *Helv. Paediat. Acta.*, 38, 211–228.
- Prader, A., Tanner, J.M., van Harnack, G.A., 1963, Catch-up growth following illness or starvation. An example of development canalization in man. *J. Pediatr.* 62, 646-659.
- Prader, A., Largo, R.H., Molinari, L., Issler, C., 1989, Physical growth of Swiss children from birth to 20 years of age. *Helv. Paediat. Acta.* 43 Supp 52,1-125.
- Roelants, M., Hauspie, R., Hoppenbrouwers, K., 2009, References for growth and pubertal development from birth to 21 years in Flanders, Belgium. *Annals of Human Biology*, 36, 680–694.
- Rosario, A.S., Schienkiewitz, A., Neuhauser, H., 2011, German height references for children aged 0 to under 18 years compared to WHO and CDC growth charts. *Annals of Human Biology*, 38, 121–130.
- Sempé, M., Pedron, G., Roy-Pernot, M.P., 1979, *Auxologie, méthode et séquences.* (Paris:Théraplix), pp.205.
- Tanaka, T., 1996, Postnatal growth. An overview. In:Gluckman PD, Heymann MA, editors. *Pediatrics and perinatology: the scientific basis*, 2nd edition. (London: Arnold), 304–309.
- Tanner, J. M., Whitehouse, R.H., Marubini, E., Resele, L.F., 1983, The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden Growth study, *Annals of Human Biology*, 3, 109-126.
- Tanner, J.M., 1962, *Growth at adolescence* 2nd ed. (Oxford: Blackwell Scientific Publications), pp.325.
- Tanner, J.M., 1986, The use and abuse of growth standards in *Human Growth: A comprehensive Treatise*; 2n ed. vol. 3, Falkner, F. and Tanner, J.M., (Plenum Press, New-York and London), pp 95-109.
- Vizmanos, B., Marti-Henneberg, C., Cliville, R., Moreno, A., Fernandez-Ballart, J., 2001, Age of pubertal onset affects the intensity and duration of pubertal growth peak but not final height. *Annals of Human Biology*, 13, 409-416.
- WHO 2006, WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: methods and development. Geneva: World Health Organization, Multicentre Growth Reference Study Group.