

## PHYSIOLOGIE DE L'EFFORT CHEZ L'ENFANT

Le 12 Décembre 1998

{Licence STAPS 98-99. C1-M2. Cours de Hugues PORTIER}

{Weineck J. in Manuel d'entraînement}

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>1. LA CROISSANCE ET ANALYSE DES COURBES CORPORELLES.....</b>	<b>3</b>
<u>1.1. Analyse des courbes corporelles.....</u>	<u>3</u>
1.1.1. La macro-croissance.....	4
1.1.1.1. La croissance du tronc.....	4
1.1.1.2. La croissance du membre inférieur.....	5
1.1.1.3. La croissance du membre supérieur.....	5
<u>1.2. En résumé.....</u>	<u>6</u>
<b>2. CROISSANCE ET APPAREIL LOCOMOTEUR PASSIF.....</b>	<b>6</b>
<u>2.1. La croissance de l'os.....</u>	<u>7</u>
<u>2.2. Traumatologie liée à la croissance.....</u>	<u>7</u>
<b>3. CROISSANCE ET APPAREIL LOCOMOTEUR ACTIF.....</b>	<b>8</b>
<u>3.1. Réponse physiologique à l'effort ; comparaison entre enfant et adulte.....</u>	<u>8</u>
3.1.1. Réponse ventilatoire.....	8
3.1.2. Les échanges gazeux.....	9
3.1.3. Les réponses du système cardio-vasculaire.....	9
3.1.3.1. Le débit cardiaque.....	9
3.1.3.2. La différence artério-veineuse.....	9
3.1.4. Les caractéristiques bioénergétiques chez l'enfant.....	9
3.1.5. Structure et typologie des fibres musculaires.....	10
3.1.6. Les réponses métaboliques.....	10
3.1.7. Le coût énergétique d'O <sub>2</sub> en ml/mn/kg.....	10

<u>3.2. Le métabolisme anaérobie.....</u>	<u>10</u>
3.2.1. Le métabolisme anaérobie lactique.....	10
3.2.2. Le métabolisme anaérobie alactique.....	11
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>11</b>

## INTRODUCTION

On a souvent tendance à comparer l'enfant à un homme. Cela est très certainement due à une littérature peu importante. Cependant, comme le précise Claparède (1937) : "L'enfant n'est pas un adulte en miniature et sa mentalité n'est pas quantitativement mais aussi qualitativement différente de celle de l'adulte, si bien que l'enfant n'est pas seulement plus petit, il est aussi différent".

Il convient alors dans ce contexte d'en préciser les différences.

## 1. LA CROISSANCE ET ANALYSE DES COURBES CORPORELLES

La croissance ne touche pas toutes les parties du corps de façon constante. La partie qui atteint la taille adulte la plus vite est la tête puisque son volume est à 95% celle de l'adulte à l'âge de cinq ans. La croissance corporelle générale n'a pas encore atteint la moitié de la taille adulte.

### 1.1. Analyse des courbes corporelles

Les courbes de croissance de la tête et du cerveau d'une part, du corps en général d'autre part, ont une évolution très différente. Ce qui frappe, c'est d'abord le développement du cerveau. Dès l'âge de six ans, il atteint 90 à 95% de celui de l'adulte. Le tissu nerveux se met rapidement en place. Ce type d'évolution évolue distinctement du corps. Il semble donc logique d'avoir des activités plutôt mentale qu'énergétique. La croissance générale du corps en revanche, n'a pas encore atteint la moitié de la taille adulte à l'âge de six ans. Quant à la progression des interconnexions des cellules corticales dans les premières années du développement, on suppose que ce bourgeonnement des fibres se produit avec intensité jusqu'à la troisième année de la vie d'un enfant (Le Boulch, 1973) et peut être intensifié par la pratique d'exercices appropriés. Qui plus est la croissance n'est pas régulière mais progresse par "bonds".

La vitesse de croissance diminue constamment jusqu'à l'âge adulte. Ils existe cependant des périodes d'accélération passagère de la croissance.

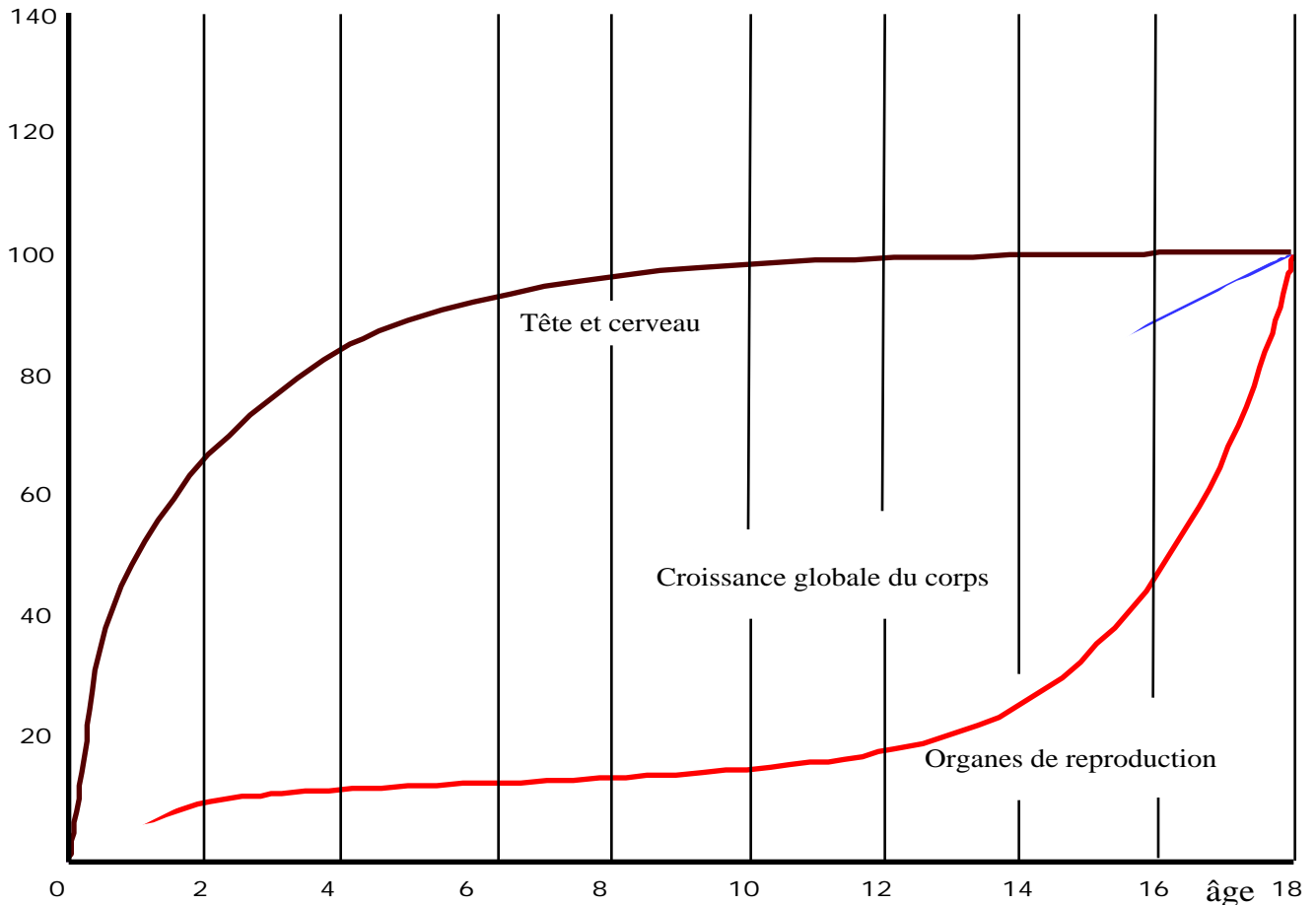
Les segments corporels pris isolément, subissent leur poussée de croissance à des moments différents : les pieds et les mains atteignent plus rapidement leur taille adulte que les jambes et l'avant-bras, et ceux-ci à leur tour, l'atteignent plus rapidement que les cuisses et les bras. On appelle ce phénomène, une régularité de croissance **centripète** (Zurbrügg 1982).

Les pics de croissance les plus importants sont :

- de 0 à 4-5 ans,
- de 11 à 14-15 ans.

Un problème supplémentaire se pose pour l'entraînement de groupes, particulièrement dans les classes scolaires où les enfants sont de même âge chronologique, en raison des grandes différences qui existent dans l'apparition de la période de croissance pubertaire.

Dans les milieux scolaires on peut observer parfois, une différence de 5 ans entre l'élève physiologiquement le plus jeune et l'élève le plus âgé. Dans le domaine sportif cette différence peut aller jusqu'à 7 ans.



### 1.1.1. La macro-croissance

Le nouveau-né mesure sensiblement 50 cm à la naissance, l'adulte mesurera à peu près 1,75 mètre. L'effort de croissance se matérialise donc par un gain de taille de 1,20 m, mais la croissance est différente au niveau du tronc et des membres.

#### 1.1.1.1. La croissance du tronc

La taille assise reflète la croissance du tronc. Elle est de 35 cm à la naissance, elle atteindra 85 cm à 1 m en fin de croissance. Mais cette croissance a un rythme :

- rapide pendant les cinq premières années de la vie où le tronc grandit d'environ 25 cm,

- plus lent entre 5 et 10 ans,
- accélération vers l'âge de 10 ans, au moment de la puberté.

Le gain de taille assise atteint 20 cm entre 10 et 15 ans.

#### 1.1.1.2. La croissance du membre inférieur

Le membre inférieur mesure 20 cm à la naissance et 75 cm en fin de croissance.

Le fémur mesure 15 cm à la naissance et 45 cm en fin de croissance (+30 cm). Il triple pratiquement de longueur.

Le tibia mesure 12 cm à la naissance et 36 cm en fin de croissance (+24 cm).

La croissance est vive pendant les cinq premières années de la vie, puis se ralentit dès l'âge de cinq ans. A cet âge, le fémur et le tibia ont atteint 50% de leur longueur définitive.

A partir de l'âge de cinq ans, le membre inférieur grandit de 3 cm par an : 2 cm pour le fémur, et 1 cm environ pour le tibia. Il n'y aura pas de reprise à la puberté. Il n'y a pas de pic pubertaire au niveau des membres inférieurs.

La croissance du membre inférieur s'arrête pratiquement dès 13 ans l'âge osseux chez la fille (autrement dit au moment de la venue des règles), et dès 15 ans d'âge osseux chez les garçons.

Age	Périmètre crânien	Poids	Taille debout	Taille assise	Segment inférieur
N	35 cm	3,5 kg	50 cm	33 cm	17 cm
1 an	46 cm	10 kg	74 cm	46 cm	28 cm
5 ans	51 cm	17 kg	107 cm	61 cm	46 cm
10 ans	53 cm	30 kg		72 cm	63 cm

#### 1.1.1.3. La croissance du membre supérieur

Elle obéit aux mêmes règles que celles du membre inférieur.

A la naissance, le membre supérieur mesure 20 cm. Il mesurera 80 cm en fin de croissance. Il n'y a pas de pic pubertaire. La croissance se ralentit dès l'âge de 5 ans, pour garder ensuite une vitesse annuelle stable d'environ 2 cm par an.

Ces considérations amènent des conclusions pratiques :

- la croissance ne s'effectue pas au même rythme au niveau du tronc et des membres ;
- le pic pubertaire est entièrement endossé par le rachis ;
- l'effort de croissance s'accompagne d'un investissement métabolique et énergétique considérable, ainsi le squelette amasse-t-il pendant la croissance environ 1 kg de calcium ;

La croissance n'est pas uniquement staturale. Elle est aussi pondérale.

La puberté s'accompagne en effet d'un gain de poids de 15 kg, c'est à dire de 5 kg par an. On conçoit que pendant cette phase de croissance aiguë la morphologie change de façon spectaculaire d'année en année. On note souvent des dysmorphismes, c'est à dire une évolution non harmonieuse.

### 1.2. En résumé

La période de puberté survient en général entre 11 et 13 ans chez les filles, alors que chez les garçons elle se situe entre 13 et 15 ans.

On constate cependant, que les segments corporels pris isolément, subissent leur poussée de croissance à des moments différents : les pieds et les mains atteignent plus rapidement leur taille adulte que les jambes et les avant-bras, et ceux-ci à leur tours, l'atteignent plus rapidement que les cuisses et les bras. On appelle ce phénomène, une régularité de croissance centripète (Zurbrügg 1952).

Parallèlement, l'âge chronologique peut-être différent de l'âge biologique. Dans les milieux scolaires on peut observer parfois, une différence de 5 ans entre l'élève physiologiquement le plus jeune et l'élève le plus âgé. Dans le domaine sportif cette différence peut aller jusqu'à 7 ans. Normalement, l'âge chronologique et l'âge biologique concordent sensiblement.

## **2. CROISSANCE ET APPAREIL LOCOMOTEUR PASSIF**

La loi de Delpech (1850) dit qu'un cartilage de conjugaison soumis à des contraintes de pression ou des efforts de traction permanentes et intenses limitent la croissance.

En 1993, les données de type traumatologie dans le milieu du sport permettent de dire que l'enfant (adolescent) est plus particulièrement exposé aux risques de lésions par des charges d'entraînement antiphysiologiques, que ne l'est l'adulte. Cet état de fait est plus marqué lors de la croissance pubertaire qui est associé à un danger de surcharge orthopédique considérable.

Qui plus est, la congruence articulaire chez l'enfant est nettement moins importantes, ce qui privilégie les risques de luxation.

Mark et Jansen ont établi un loi qui précise que la sensibilité des tissus est proportionnelle à la vitesse de croissance. Si un entraînement est trop important en raison de charges antiphysiologiques on va encourir à des risques de lésions plus importantes. Ces lésions se retrouvent par des :

- déséquilibres des masses musculaires,
- déséquilibres orthopédique.

Ceci est du à une tolérance très faible de l'appareil locomoteur passif dans la mesure où la couche dure osseuse n'existe pas. En conséquence, les os ne résistent ni à la pression, ni à la flexion.

Les ligaments ne sont pas eux non plus résistants à la traction car ils sont composés de structures micellaires qui ne sont pas encore formées.

## **LA CAPACITE DE TOLERER UNE CHARGE INDIVIDUELLE PAR L'APPAREIL OSSEUX, CARTILAGINEUX, TENDINEUX ET LIGAMENTAIRE, EST UN FACTEUR LIMITATIF DE L'ENTRAINEMENT DE L'ENFANT ET DE L'ADOLESCENT.**

### 2.1. La croissance de l'os

Elle se fait par étapes successives avec transformation du modèle cartilagineux en pièce osseuse.

#### - L'ossification endochondrale.

C'est le processus d'ossification de tous les os longs, des corps vertébraux et d'une partie des os du crâne.

Chaque os long se développe à partir d'un point d'ossification diaphysaire et de deux points d'ossification épiphysaire.

Le facteur déclenchant de l'ossification est la pénétration d'une artériole dans le modèle cartilagineux. Cette artériole amène l'oxygène et les substances nutritives nécessaires à son métabolisme.

Des cellules issues du périchondre vont se transformer en ostéoblastes. Cette transformation aboutit peu à peu aux cellules osseuses (ostéocytes).

#### - L'ossification périostée.

Elle s'effectue à partir de la couche la plus profonde, ostéogénèse, du périoste.

Les cellules de cette couche se divisent et se transforment en ostéoblastes.

### 2.2. Traumatologie liée à la croissance

#### **Epiphysiolyse :**

Ces sont des fractures ou ulsération au niveau du cartilage de conjugaison, qui sépare donc la diaphyse de l'épiphysaire. Chez l'enfant elles se rencontrent surtout au niveau de la hanche (maladie de Legg) et au niveau de l'humérus dans sa partie inférieure.

#### **Ostéochondroses ou apophysites :**

Ce sont des micro arrachements au niveau des apophyses de type osseux. Elles sont dues aux tractions provoquées par la surcharge de mouvements (elles peuvent être assimilées à la tendinite chez l'adulte). Ses localisations sont diverses :

- Ostéochondrose d'**Osgood Schlatter**, située au niveau de la tubérosité tibiale antérieure, c'est une traumatologie rencontrés fréquemment chez le jeune basketteur et footballeur. Elle touche en général 60% des garçons de 10 à 15 ans et 40% des filles de 8 à 14 ans. Le remède est l'arrêt de la pratique sportive durant un ans.

- au niveau du talon, à cause de la pression exercée lors des impulsions, par exemple en gymnastique,
- au niveau de la rotule : aspect fonctionnel freinateur qui entraîne des pressions élevées,
- au niveau de la cuisse : maladie de Mc Master,
- au niveau du rachis : maladie de Scheuerman.

### **NORMALEMENT LA CROISSANCE EST INDOLORE.**

**La douleur est donc révélatrice de problèmes. Ceci amène à une question :**

**JUSQU'OU PEUT-ON ALLER ?**

Ceci nous ramène au problème du dosage de l'activité physique chez l'enfant.

### **3. CROISSANCE ET APPAREIL LOCOMOTEUR ACTIF**

Au niveau de l'appareil locomoteur actif, garçons et filles sont sensiblement identiques jusqu'à la puberté en raison d'une activité hormonale quasi-identique. A la puberté, la concentration de testostérone plus importante chez le garçon va faire apparaître un certain dysphormisme, notamment sexuelle primaire et secondaire :

- primaire : activité hormonale
- secondaire : pilosité, prise de poids, masse musculaire (22 à 27% du poids du corps).

A la puberté, la testostérone améliore l'activité anaérobie avec la possibilité de produire et supporter l'acide lactique. L'utilisation optimale de l'acide lactique n'arrive qu'à 18 ans. L'enfant compense la faiblesse du système anaérobie grâce à son système aérobie car sa mise en route est plus rapide, il possède plus de mitochondries et utilise plus facilement ses acides gras que peut le faire un adulte.

#### 3.1. Réponse physiologique à l'effort ; comparaison entre enfant et adulte

##### 3.1.1. Réponse ventilatoire

Le débit ventilatoire est plus faible chez l'enfant mais ce débit va s'améliorer avec l'âge et la taille. Ce même débit va aussi croître avec le  $VO_2$ . Le débit ventilatoire sous maximale en comparaison avec le débit ventilatoire à 70% du  $VO_{2max}$  sera plus élevé que celui de l'adulte. Ceci est dû au fait qu'un enfant a une respiration plus superficielle alors que chez l'adulte la respiration est plus profonde car les muscles respiratoires ne sont pas encore assez développés. La fréquence respiratoire est beaucoup plus élevée : 15 à 18 cycles contre 12 chez l'adulte. La respiration est donc plus coûteuse sur un pal énergétique chez l'enfant. Ceci implique une diminution du volume courant.

### 3.1.2. Les échanges gazeux

L'enfant possède un système anaérobie déficient mais qui est compensé par un bon système aérobie notamment grâce à de nombreuses et volumineuses mitochondries.

Cependant, le système aérobie reste déficiente en raison :

- d'une surface d'échange alvéolaire réduite (taille des poumons),
- la concentration d'Hb est plus faible,
- le système capillaire est moins développé tant en nombre qu'en diamètre, ce qui implique un système de diffusion faible.

### 3.1.3. Les réponses du système cardio-vasculaire

La loi de Fick précise que :  $VO_2 = Qc \times d(a-v)O_2$

$Qc$  = débit cardiaque ;

$d(a-v)O_2$  = consommation d' $O_2$  de tissus.

#### 3.1.3.1. Le débit cardiaque

Quelque soit l'âge et quelque soit l'intensité de l'effort, la Fc d'un enfant est de 20 à 30% supérieure à celle de l'adulte. Les filles ont une Fc supérieure de 10% à celle des garçons.

Quelque soit l'intensité les Ves sont inférieurs à l'adulte.

Ainsi le  $Qc$  de l'enfant est inférieur dans son ensemble à celui de l'adulte.

#### 3.1.3.2. La différence artério-veineuse

La différence artério-veineuse est supérieure à celle de l'adulte. Ceci s'explique par deux raisons :

1. la saturation de l'Hb dans les artères est de 98% chez l'enfant et de 80% chez l'adulte ;
2. les tissus consomment plus d' $O_2$  ce qui fait qu'il y a moins d' $O_2$  dans le sang veineux chez l'enfant.

### 3.1.4. Les caractéristiques bioénergétiques chez l'enfant

Elles sont peu nombreuses dans la mesure où la biopsie est interdite sauf dans les pays de l'Est. Les données de ces pays là, nous ont permis d'observer qu'au niveau des substrats énergétiques :

- La concentration d'ATP est de 3 à 5 mmol par kg de muscle ce qui est identique à l'adulte et possède la même vitesse d'utilisation ce qui veut dire que l'on peut travailler la vitesse chez l'enfant.
- La concentration de CP est de 12 à 20 mmol par kg de muscle donc légèrement plus faible que chez l'adulte ainsi que sa vitesse d'utilisation.
- La concentration de glycogène ainsi que sa vitesse d'utilisation est plus faible car le système anaérobie est très peu développé pour des raisons enzymatiques. L'activité enzymatique du cycle de Krebs requiert une grande quantité d'enzyme de l'acétyl CoA, or cet enzyme est responsable de la formation d'ATP.

- Très faible quantité de l'enzyme de la glycolyse PFK qui est produite avec la testostérone.
- Très faible quantité de l'enzyme LDH qui est lié au précurseur de l'acide lactique, c'est à dire du pyruvate en lactate et inversement et qui permet l'élimination de l'AL pour la resynthèse de l'ATP.

### 3.1.5. Structure et typologie des fibres musculaires

Les fibres de type I sont largement majoritaires.

Les fibres de type II sont moindres chez l'enfant mais surtout au cause des fibres IIa qui sont inexistantes et qui sont des fibres glycolytiques. IIb = ATP/PC.

### 3.1.6. Les réponses métaboliques

Le  $VO_2$ max chez l'enfant est globalement supérieur que chez l'adulte. On note deux évolutions différentes entre filles et garçons.

- Chez la fille, le  $VO_2$ max double entre 6 et 16 ans mais à partir de 12 ans, le  $VO_2$ max va progressivement commencer à stagner. Cela est du a une augmentation des masses grasses. Cependant, si on établit un rapport entre les masses musculaires et le  $VO_2$ max celui-ci reste identique.
- Chez le garçon, le  $VO_2$ max double entre 6 et 16 ans mais à partir de 12 ans il augmente encore plus. L'entraînement aérobie chez l'enfant permet une accélération du  $VO_2$ max. Cependant, il n'est pas prouvé que le  $VO_2$ max augmente avant la puberté.

### 3.1.7. Le coût énergétique d' $O_2$ en ml/mn/kg

Quelque soit l'intensité de l'effort, le coût énergétique chez l'enfant est supérieur à celui de l'adulte pour trois raisons :

1. Fc plus élevée.
2. Fresp plus élevée.
3. Coordination motrice ni efficace, ni efficiente.

L'entraînement permet d'abaisser le coût énergétique notamment grâce à l'amélioration du geste sportif.

## 3.2. Le métabolisme anaérobie

### 3.2.1. Le métabolisme anaérobie lactique

- Beaucoup plus faible pour des raisons structurelle.
- Dette d' $O_2$  quasiment inexistante en raison de la mise en jeu très rapide des systèmes très rapide.

### 3.2.2. Le métabolisme anaérobie alactique

Il est inférieur chez l'enfant.

La capacité anaérobie alactique est performante mais le coût énergétique reste élevé. L'entraînement améliore la capacité anaérobie alactique notamment sur le plan de la conduction nerveuse.

## **CONCLUSION**

Un enfant avant la puberté ne devrait pas avoir un entraînement dirigé vers l'amélioration des capacités énergétiques mais plutôt en regard de la motricité. L'amélioration des capacités énergétiques devraient être plus particulièrement abordées à la puberté.