

L'endurance de force :

Christian MILLER
Jean Michel LEVEQUE

Centre d'Expertise Scientifique Appliquée au Sport
TeamLagardère

Bruxelles 2006

L'endurance de force :

Introduction

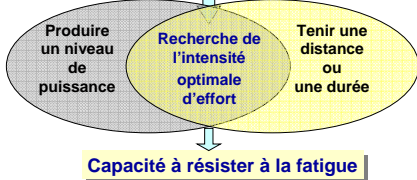
Notion de fatigue et d'endurance de force

Evaluation et définition

Les procédés de développement

Introduction

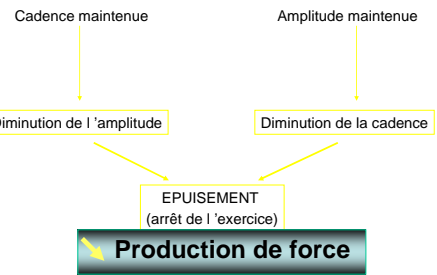
La capacité à maintenir un niveau d'effort dans la durée est une donnée qui fait implicitement partie de la notion de performance en sport



Manifestation de la fatigue

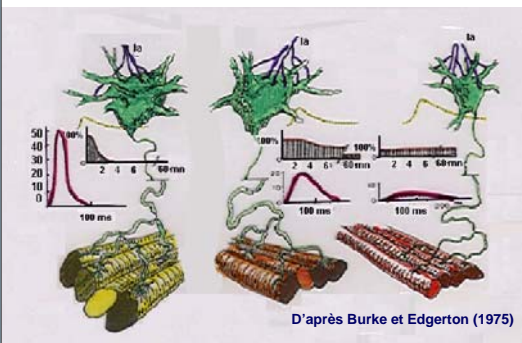
(Mosso 1890)

lors d'efforts anisométriques répétés:

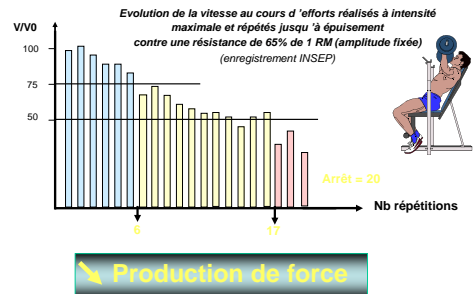


Manifestation de la fatigue

- caractéristique des Unité Motrice (UM)



Manifestation de la fatigue lors d'efforts anisométriques répétés : contribution à la quantification du nombre de répétitions dans la série



Facteurs influençant la fatigue

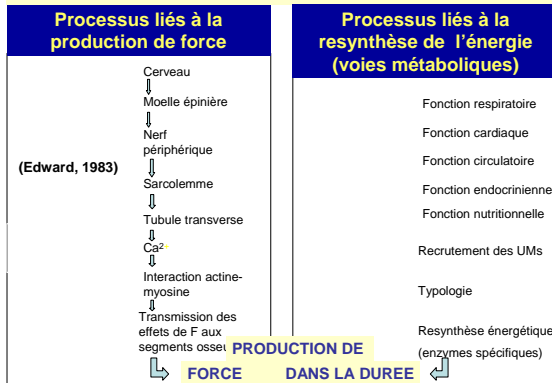
- Fitts, R.H. (1994)
- Gandevia, S.C. et al. (1995)
- Macintosh, B.R. et Rassier D.E. (2002)



Facteurs psychologiques

Facteurs physiologiques

Facteurs physiologiques influençant la fatigue



Facteurs influençant la fatigue

- Fitts, R.H. (1994)
- Gandevia, S.C. et al. (1995)
- Macintosh, B.R. et Rassier D.E. (2002)



Facteurs psychologiques

Facteurs physiologiques

(liés à la sensation et/ou au sentiment de pénibilité de la tâche)

Fatigue centrale ?
SNC
perturbations du recrutement des UMs

Echelle de Borgh

Facteurs influençant la fatigue



Evaluation et définition de l'endurance de force

Endurance de force relative

Endurance de force absolue

Endurance de force spécifique



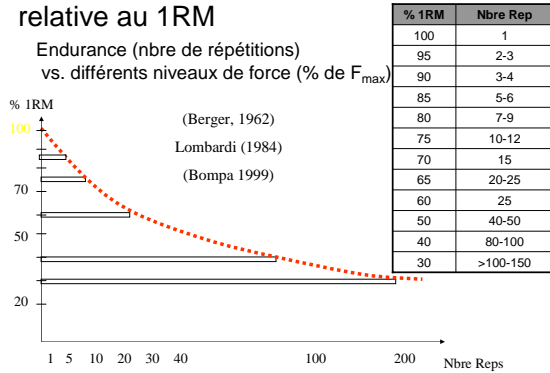
Evaluation de l'endurance de force "relative"

Choix d'une charge résistante = % de Fmax

Endurance de force = nombre de répétitions et/ou la durée jusqu'à épuisement



Evaluation de l'endurance de force relative au 1RM



Endurance de force relative

Capacité d'un sujet à maintenir, dans un mouvement donné, jusqu'à épuisement le plus haut niveau de force possible dans la mobilisation d'une charge relative à la charge maximale que peut mobiliser l'individu

La majorité des études scientifiques.

Intérêts et limites de cette définition de l'endurance de force relative

La normalisation permet une comparaison entre les populations.

Elle permet de révéler :

- des différences entre les sports
- les effets de l'entraînement et/ou des différences génétiques

Intérêts et limites de cette définition de l'endurance de force relative

L'estimation du 1 RM est déterminante

Sujet X : 1 RM réelle = 100 Kg 1 RM estimée = 100 Kg		Sujet X : 1 RM réelle = 100 Kg 1 RM estimée = 90 Kg	
% 1RM	Nbre Rep	% 1RM	Nbre Rep
100	1	100	1
95	2-3	95	5-6
90	3-4	90	7-9
85	5-6	85	10-12
80	7-9	80	15
75	10-12	75	20-25
70	15	70	25
65	20-25	65	
60	25	60	40-50
50	40-50	50	
40	80-100	40	80-100
30	>100-150	30	>100-150

Intérêts et limites de cette définition de l'endurance de force (relative)

Comparaison d'individus ayant des niveaux de force maximale très différents pose problème

Sujet X : 1 RM = 150 Kg		Sujet Y : 1 RM = 100 Kg	
% 1RM	Nbre Rep	% 1RM	Nbre Rep
100	1	100	1
95	2-3	95	2-3
90	3-4	90	3-4
85	5-6	85	5-6
80	7-9	80	7-9
75	10-12	75	10-12
70	15	70	15
65	20-25	65	20-25
60	25	60	25
50	40-50	50	40-50
40	80-100	40	80-100
30	>100-150	30	>100-150

100 Kg x 1

100 Kg x 10

Evaluation de l'endurance de force absolue :



Choix d'une charge résistante = x Kilogrammes

Endurance de force = nombre de répétitions jusqu'à épuisement

Intérêts et limites de cette définition de l'endurance de force absolue

permet des comparaisons intra et inter individuelles.

Elle permet de révéler :

- les effets de l'entraînement : progrès d'un individu par rapport à lui-même
- des différences entre individus

Conclusion 2: définition 2

Endurance de force absolue



Capacité d'un sujet à maintenir, dans un mouvement donné, jusqu'à épuisement partiel ou total le plus haut niveau de force possible dans la mobilisation d'une charge donnée

Evaluation de l'endurance de force spécifique :



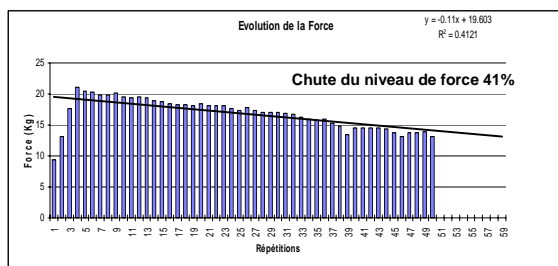
Choix de l'effort testé

Contraintes de la spécialité

Evaluation de l'endurance de force : l'endurance de force spécifique

Paramètres permettant de définir des éléments de spécificité					
CONDITIONS DE REALISATION DU MOUVEMENT	STRATEGIES	fixées (économie ou maxi)		libres	
	DUREE totale	CADENCE (fixée ou libre)		AMPLITUDE (libre ou fixée)	
	REITERATION	Cyclique	Pendulaire (inversion de mvt)		
GROUPE OU CHAINE MUSCULAIRE	MASSE MUSCULAIRE	Local < 1/3	Régional	Global >2/3	
	FONCTIONNALITE (local)	Fixateur ← Moteur			
	TYPE DE CONTRACTION	Isométrique	Anisométrique		
			Conc.	Exc.	Plio
CONTRAINTES MECANQUES	NIVEAU DE CHARGE	Forces accélératrices élevées		Forces externes résistantes élevées	

Un exemple : Test d'endurance de force chez les véliplanhistes V = 250 cm.s-1; Durée = 45 s



Conclusion 3: définition 3

Endurance de force spécifique



Capacité à maintenir dans des proportions minimales la baisse d'un niveau de force donné pendant une durée fixée, dans conditions biomécaniques définies**.**

(** : réf. activité sportive)

Evaluation de l'endurance de force absolue ou relative: facteurs de variation

L'endurance musculaire (nombre maxi de répétitions) varie avec

- la consigne et la stratégie : répartition de l'effort ou non
- les groupes musculaires mobilisés (Hoeger et al. , 1987) : i.e. DC vs SQ
- quantité de masse musculaire mobilisée (Scherrer et Monod, 1960)
 - travail local < 30%
 - travail global > 70%
- le type de contraction utilisé (Hoeger et al. ,1990)
- le mode de réitération du mouvement :
 - cyclique ou pendulaire (gestion du contre-mouvement)

Les procédés de développement



Principes de base :

- charge : légère (30% à 40 % de 1RM)
- nombre de répétitions : élevé ou quasi-maximal (épuiement) à chaque série
- vitesse de mobilisation de la charge : faible
- « séries brûlantes »
- « séries compensées »
- « séries agonistes » en circuit



Principes de base : reproduire dans les exercices de musculation les paramètres d'intensité, de durée et de cadence spécifique de la compétition.

- résistance : autour de la résistance de compétition
- nombre de répétitions et/ou la durée : choisis en fonction des durées d'efforts de la compétition
- vitesse de mobilisation de la charge : cadence de compétition
- « séries brûlantes »
- « séries agonistes » en circuit
- « séries antagonistes » en circuit



- ils nécessitent une quantité de travail très importante : ils représentent donc une source de fatigue supplémentaire

- une prise de poids éventuelle (liée à l'hypertrophie musculaire)

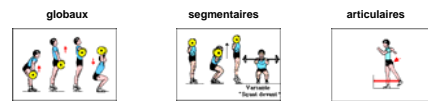
... de développement de l'endurance de force sont mal adaptés à un grand nombre de sports exigeant, en priorité, une quantité importante d'entraînement dans la discipline



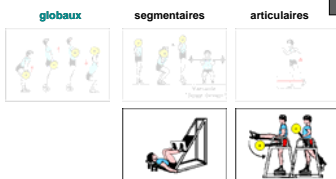
Les procédés d'endurance de force :
Quel intérêt ?
A quelles conditions ?

Le choix des exercices Le dosage du travail

Le travail musculaire peut être défini comme local, régional ou général selon l'importance des masses musculaires engagées pendant l'effort (Monod et Scherrer)



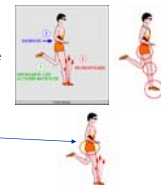
Le choix des exercices se portera en priorité sur les exercices de types articulaires ou segmentaires



Les exercices contre-résistance permettent de réaliser un travail d'endurance musculaire locale « spécifique »

→ Analyse de la tâche

- Le choix des exercices devra être ciblé sur les chaînes musculaires spécifiquement impliquées dans la discipline (exercices segmentaires ou articulaires)
- focalisé sur le ou les maillons faibles des chaînes musculaires spécifiques (exercices articulaires).



Les exercices contre-résistance permettent :
 de faire travailler le système neuro-musculaire

à des niveaux de force (donc de recrutement des fibres musculaires) supérieurs à ceux obtenus dans la pratique,

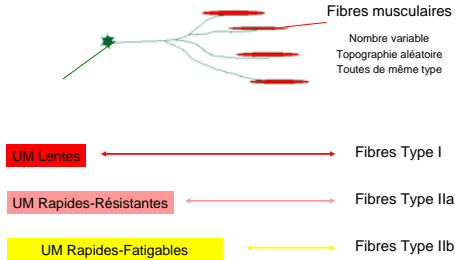
dans la durée.

Dosage de l'intensité du travail

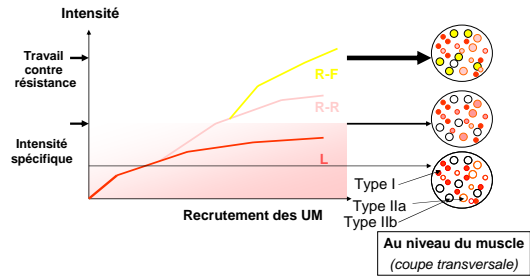
$$\text{Intensité} = \text{charge} \times \text{vitesse de mobilisation de la charge}$$

Notion d'unité motrice :

Unité motrice = unité fonctionnelle du muscle



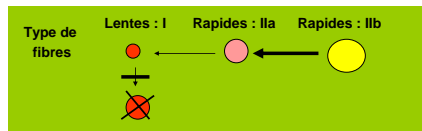
Le recrutement des Unités Motrices : le principe de la taille (Henneman, 1957,1965,1974)



Règles : faire travailler dans la durée, sur des intensités supérieures à celles mises en jeu dans la pratique :

- par la charge (80% de 1RM),
- par la charge et par la vitesse (60% de 1RM à V. Max.)
- par la vitesse (charges < à 40% de 1RM à V. Max.)

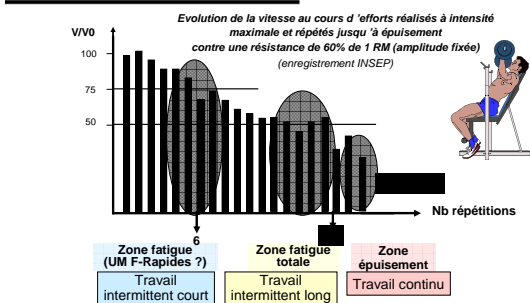
But : modifier les capacités métaboliques des fibres musculaires non directement recrutées dans la pratique spécifique du sport, plutôt que d'hypertrophier celles déjà entraînées par ailleurs dans la pratique spécifique.



Dosage de la durée de l'effort et/ou du nombre de répétitions



But :
mettre le système musculaire en situation de fatigue



Les différentes formes de travail de l'endurance de force (1)

Travail intermittent court : fatigue des fibres rapides
mouvement réalisé à vitesse maximale

DOSAGE

- INTENSITE (% de 1 RM)**
85% - 60% - 40%
cadence optimale
- Nb répétitions dans la série**
0.3 à 0.5 x nb à l'épuisement
- Nb de séries**
paramètre non fixé
décrochage
- Récupération**
(entre les séries)
- Tps Travail = Tps de repos

CHOIX DES EXERCICES

VARIANTES

Travail intermittent long : fatigue totale des fibres
mouvement réalisé à vitesse maximale

DOSAGE

- INTENSITE (% de 1 RM)**
60% - 40%
cadence optimale
- Nb répétitions dans la série**
0.5 à 0.7 x nb à l'épuisement
- Nb de séries**
paramètre non fixé
épuisement
- Récupération**
(entre les séries)
Complète

CHOIX DES EXERCICES

Travail local : segmentaire ou articulaire

VARIANTES

- Pré-fatigue (exercices segmentaires)
- Combiné avec intermittent court
- Combiner les niveaux d'intensité

Travail continu : épuisement
mouvement réalisé à vitesse maximale

DOSAGE

- INTENSITE (% de 1 RM)**
80% - 60% - 40%
cadence optimale
- Nb répétitions dans la série**
= nb à l'épuisement
- Nb de séries**
paramètre non fixé
épuisement
- Récupération**
(entre les séries)
Complète

CHOIX DES EXERCICES

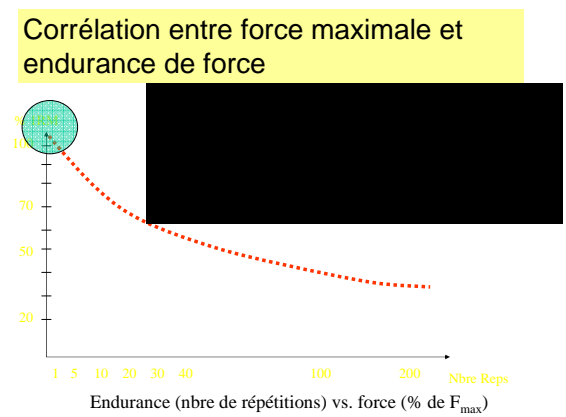
Travail local : segmentaire ou articulaire

VARIANTES

- Pré-fatigue (exos segmentaires)
- Combiné avec intermittent court
- Combiner les niveaux d'intensité

Controverses dans la littérature

Entraînement simultané ou alterné de l'endurance et de la force



Haute corrélation ($r = 0.90$)
entre la force (kg) et l'endurance (secondes)
Développé-couché **50 kg** ; 1 lever / 2 s ; n = 16

Temps (s)	55	60 kg	65 kg	70 kg	75 kg	80 kg
52-60					2	4
42-50				5	10	3
32-40			7	23	7	3
22-30		11	16	13		
12-20	11	24	7			
2-10	17	2				

D'après Zatsiorski (1999)

Faible corrélation ($r=0.17$) entre la force (kg) et l'endurance (s),

Développé-couché **20 kg**; 1 lever / 2 s; n = 168

Temps (s)	55 kg	60 kg	65 kg	70 kg	75 kg	80 kg
182-200		2			2	1
162-180			4	5	6	2
142-160	2	4	7	12	3	2
122-140	4	11	14	8	8	1
102-120	6	15	6	3	2	1
82-100	6	4	2	5	3	1
62-80	7	2	5	6	2	1
42-60	1		1		1	

D'après Zatsiorski (1999)

Conclusion : corrélation Force Max vs Endurance de force

Les corrélations entre force et endurance dépendent de l'importance de la résistance

- r est élevé quand la résistance est élevée
- r est faible quand la résistance est faible

- Des sujets de même niveau de force possèdent différents niveaux d'endurance

Conclusion : corrélation Force Max vs Endurance de force

Si la résistance est > 80% de F_{max} , la performance d'endurance dépend largement du niveau de force.

Zatsiorski (1999),



En moyenne, au dessous de 20 à 30% de F_{Max} , le nombre de répétitions devient indépendant de la valeur de force maximale.

Zatsiorski (1999), Le Chevalier (2003)

Effet du renforcement musculaire sur les performances d'endurance

(Tanaka H. et Swensen T., 1998)

Course à pied



Cyclisme



Natation



Effet du renforcement musculaire sur les performances d'endurance en course à pied

Hickson R. C. et al. (1980, 1988)
 Gettman L. R. et al. (1978)
 Wilmore J. H. et al. (1982)
 Hunter G. et al. (1987)

Sujets pas ou peu entraînés



Hypothèse = plus grande économie de course

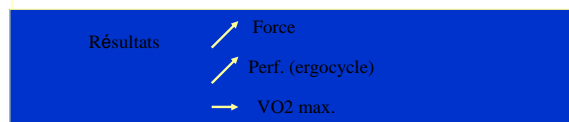
Coyle E. F. et al. (1995)
 Millet G. et al. (2002)

Sujets entraînés

Effet du renforcement musculaire sur les performances d'endurance en cyclisme

Kraemer, W. J. et al. (1995)
 Pettersson, S. R. et al. (1978)
 Marciniak E. J. et al. (1991)
 O'Bryen, H. S. et al. (1980)

Sujets pas ou peu entraînés



Hypothèse : moindre coût énergétique

Marciniak E. J. et al. (1991)

Effet du renforcement musculaire sur les performances d'endurance cas de la Natation



1er constat : Costill D. et al., 1980
 Toussaint H.M. et Vervoorn K., 1990
 Corrélation entre perf en natation sur 25m à 400m et force et puissance musculaire

2e constat : Thompson H.L. et Stull G.A. 1959
 Nunney D.K., 1960 *Sujets non-entraînés*

Pas d'effet positif du renforcement musculaire
Comparaison Natation + Musculation avec Natation seule

Effet du renforcement musculaire sur les performances d'endurance cas de la Natation



3e constat : Tanaka H. et Costill D.L., 1993
 Sujets entraînés collège RM traditionnel ↗ Force
↘ Perf.

4e constat : Toussaint H.M. et Vervoorn K., 1990
 Kiselev A.P., 1990
 Bulganova N.Z. et al., 1990
 Sujets entraînés RM Spécifique « dans l'eau » ↗ Force
↘ Perf.

L'endurance de force : aspects scientifiques

Bibliographie sommaire (revues de littérature)

Fitts R.H., 1994
 Tanaka H. et Swensen T., 1998
 Docherty D. et Sporer B., 2000
 Leveritt M. et al., 2002



	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6
TYPE DE CYCLE	REPRISE	DEVPT	DEVPT	DEVPT	DEVPT	PRE-COMPET.
FORME DE TRAVAIL	GENERAL	GENERAL	GENERAL	ORIENTE	SPECIF.	SPECIF.
DUREE	3 sem	3 sem	3 sem	3 sem	4 sem	3 sem
OBJECTIF Dominant	PUISSANCE SSMAX	PUISSANCE MAX.	FORCE MAX	EXPLOSIVITE Phase 1	EXPLOSIVITE Phase 2	EXPLOSIVITE
OBJECTIF Secondaire		Exos Préparatoires	END. FORCE 1	END. FORCE 2	Exos D'entretien	FORCE PUISS.