

B103

# Biomécanique des disciplines

Mario Kamer

*Traduction française : Robert Schaffer*





# Objectifs

- **Approfondir** les bases introduites lors de la formation entraîneur C
- Reconnaître (et utiliser...) les **principes biomécaniques** derrière les formes techniques

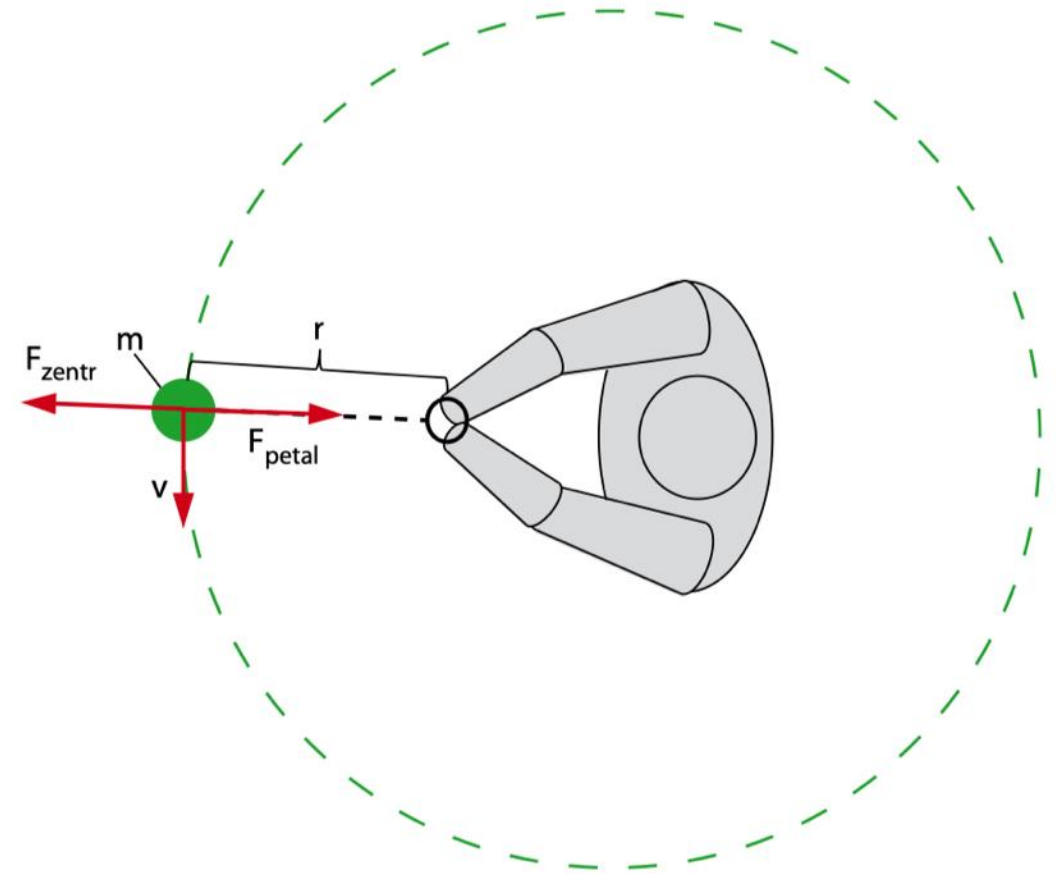
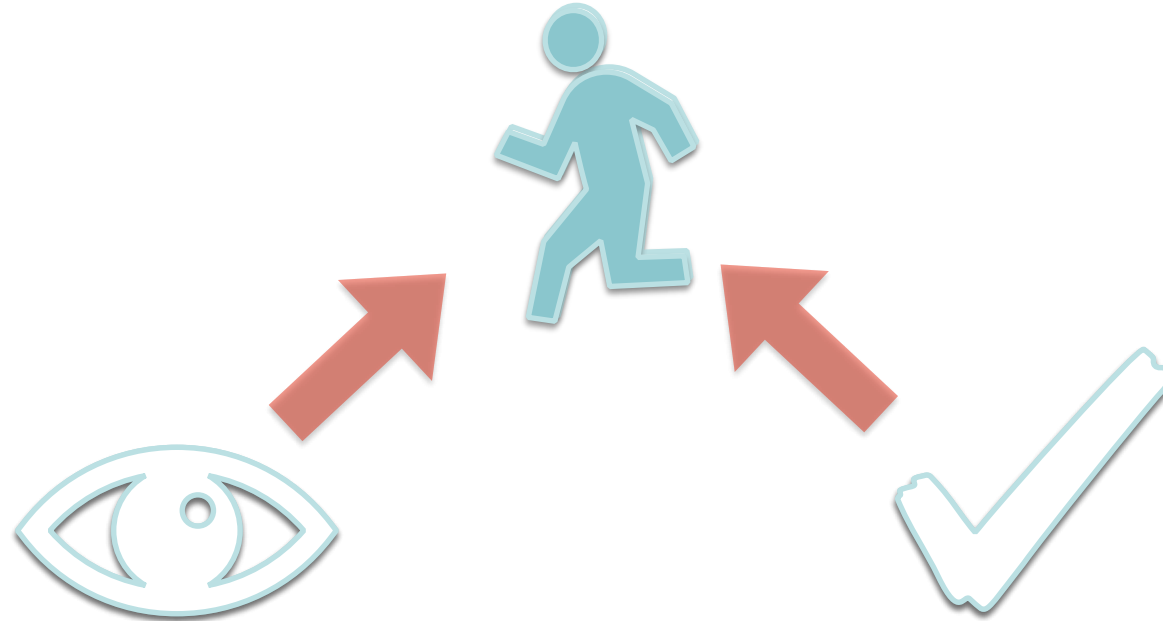


Bild: Schwameder et al. (2013)



# Buts de la biomécanique

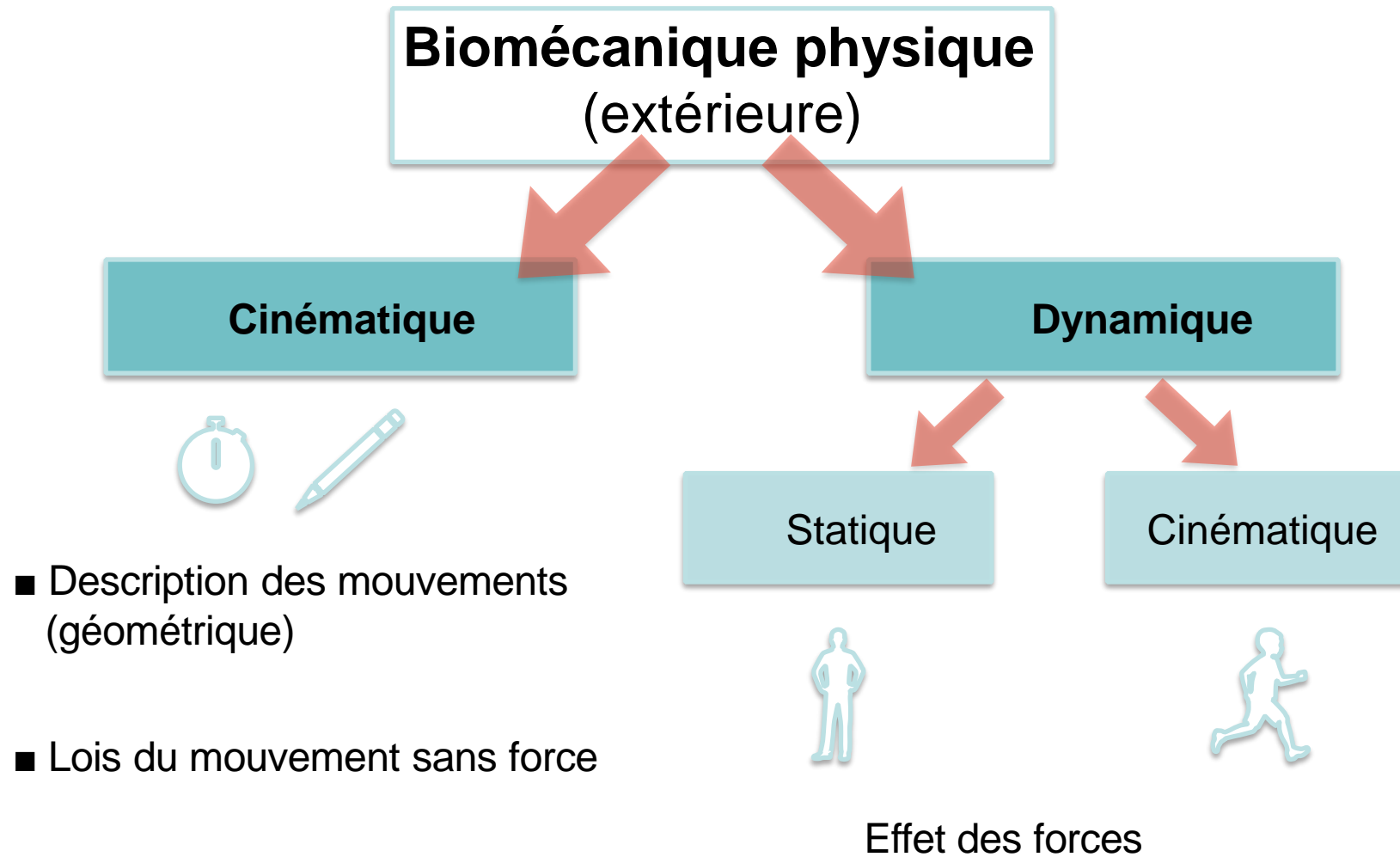


- Développer la capacité d'analyser et de comprendre les déroulements des mouvements.

- Développer la capacité de corriger et d'optimiser les déroulements des mouvements à l'aide de mesures techniques et de condition physique.



# Qu'est-ce que la biomécanique



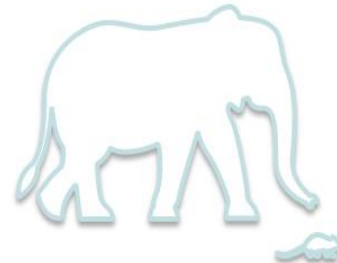


# Rétrospective

## 1. Principe d'inertie



## 2. Principe d'action



## 3. Principe de réaction

### Loi de l'inertie (première loi de Newton)

Lorsque aucune force agit, un corps demeure en son état de repos ou continue son mouvement rectiligne uniforme.

### Loi d'action (deuxième loi de Newton)

Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice ; et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée

### Loi de l'action et de la réaction (troisième loi de Newton)

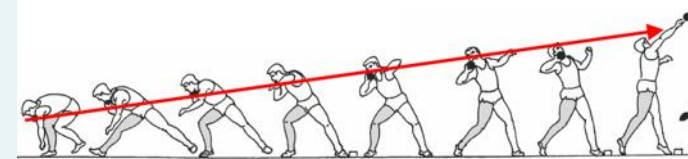
L'action est toujours égale à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraires

Schwameder et al. (2013).; [https://www.swiss-athletics.ch/wp-content/uploads/Kursunterlagen\\_MK\\_d.zip](https://www.swiss-athletics.ch/wp-content/uploads/Kursunterlagen_MK_d.zip)

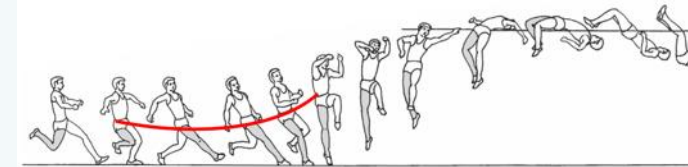


# Principes biomécaniques

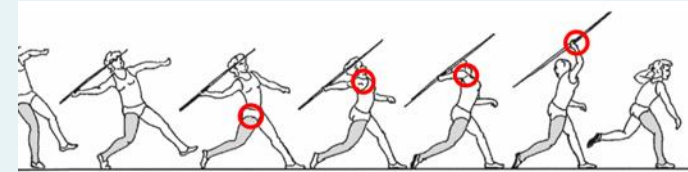
**Principe du chemin d'accélération optimal**



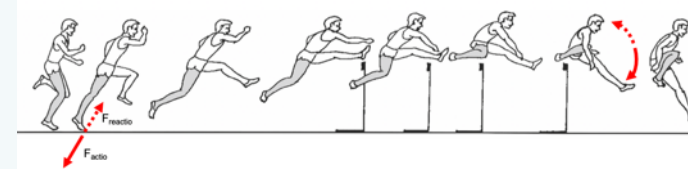
**Principe de la force initiale**



**Principe de de la coordination des impulsions partielles**



**Principe de réaction**



**Principe de la conservation de la quantité de mouvement**



nach Hochmuth, 1981



# Principe du chemin d'accélération optimal

- Il faut optimiser **la longueur** de la trajectoire d'accélération en tenant compte des particularités anatomiques et temporelles.
- La trajectoire devrait être **rectiligne** ou présenter une courbure constante.
- Si la vitesse finale doit être maximale, **les forces d'accélération les plus grandes doivent agir à la fin.**

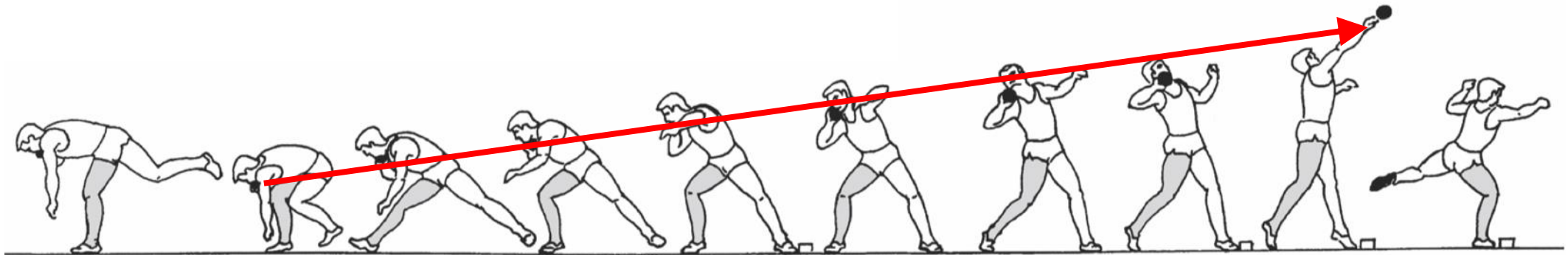
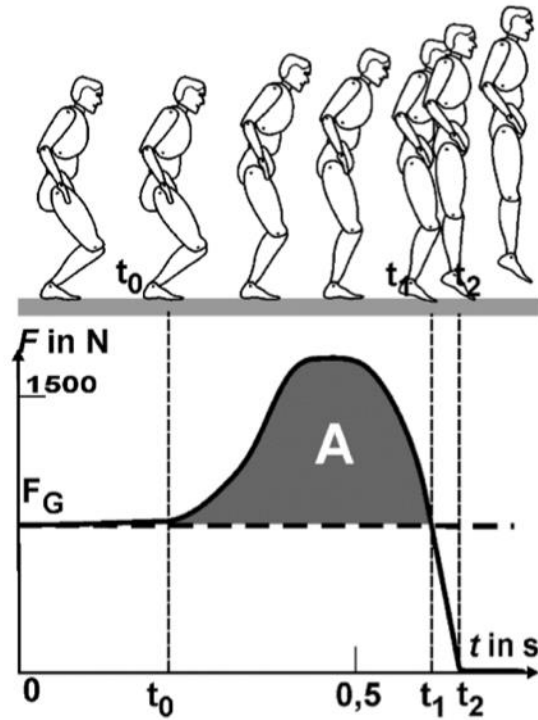


Bild: Swiss Athletics, 2020

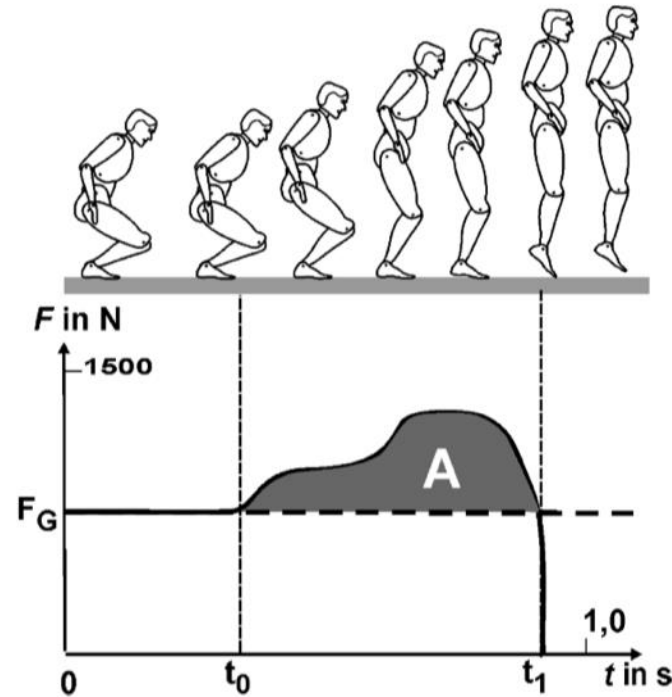


# Principe du chemin d'accélération optimal

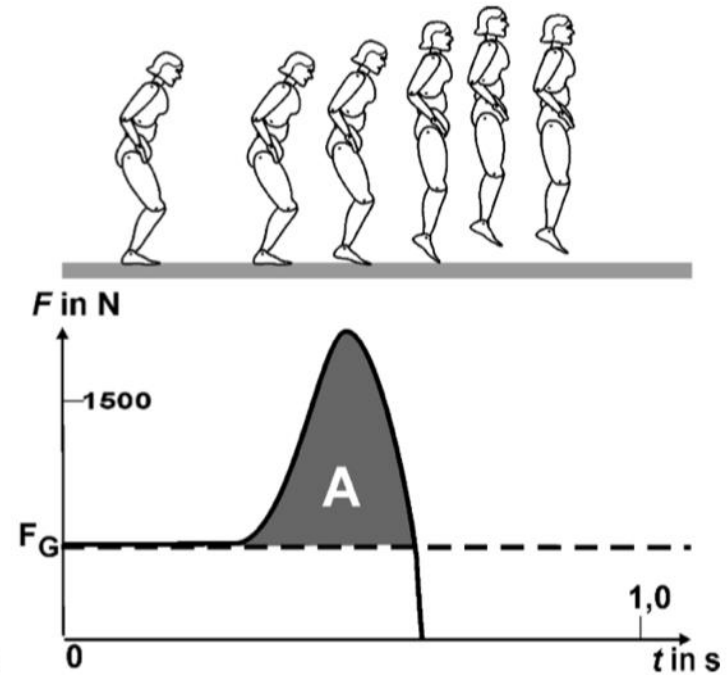
- Optimal  $\neq$  Maximal



Optimal



(trop grande) flexion profonde  
(mauvais déploiement de la  
force)



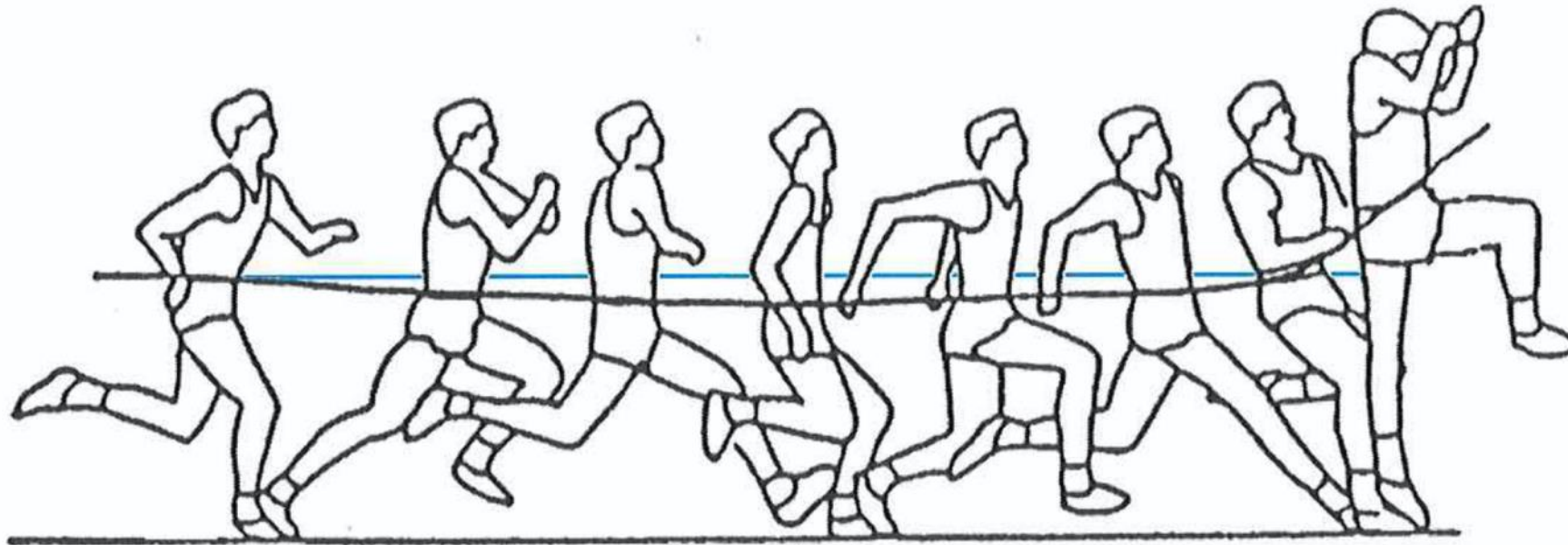
(trop faible) flexion  
(chemin d'accélération court)





# Principe de la force initiale

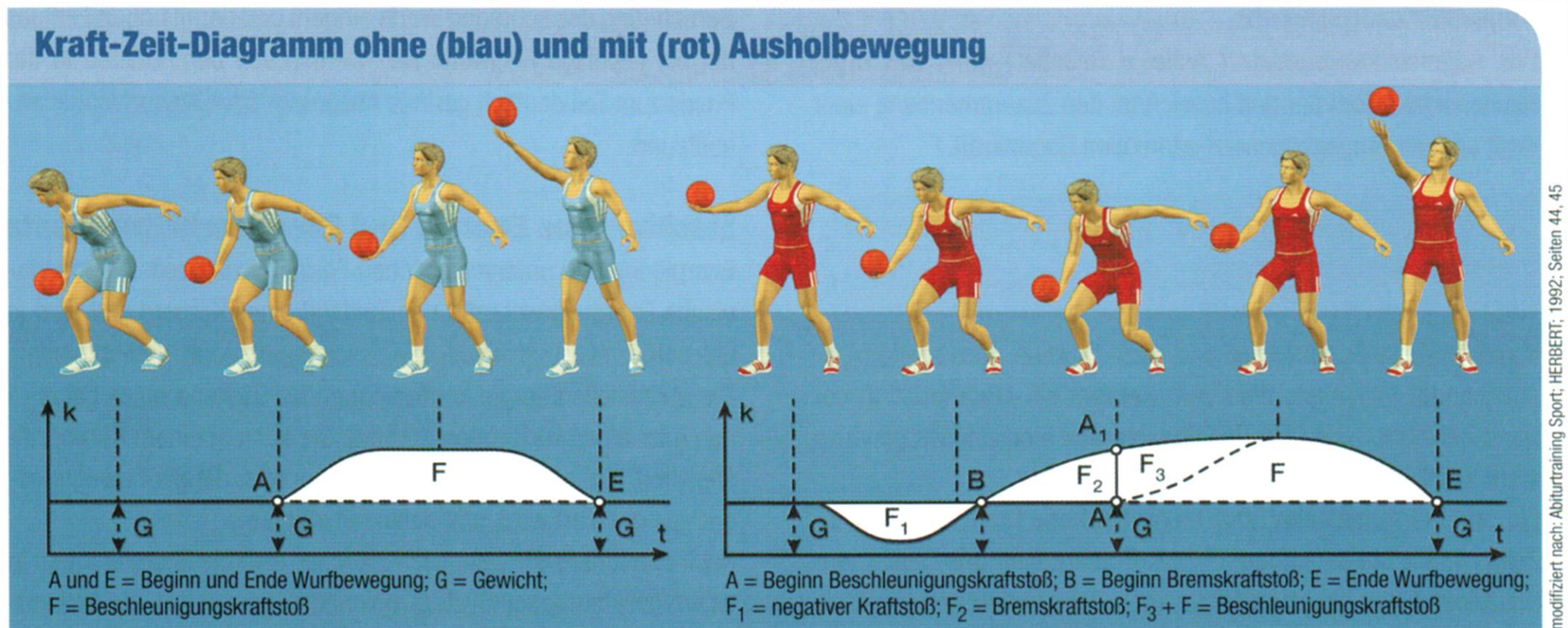
- Si une **vitesse finale élevée** doit être atteinte au cours d'un mouvement, elle doit être déclenchée par un **mouvement en direction opposée**.





# Principe de la force initiale

Diagramme force-temps : sans (bleu) et avec (rouge) mouvement de prise d'élan



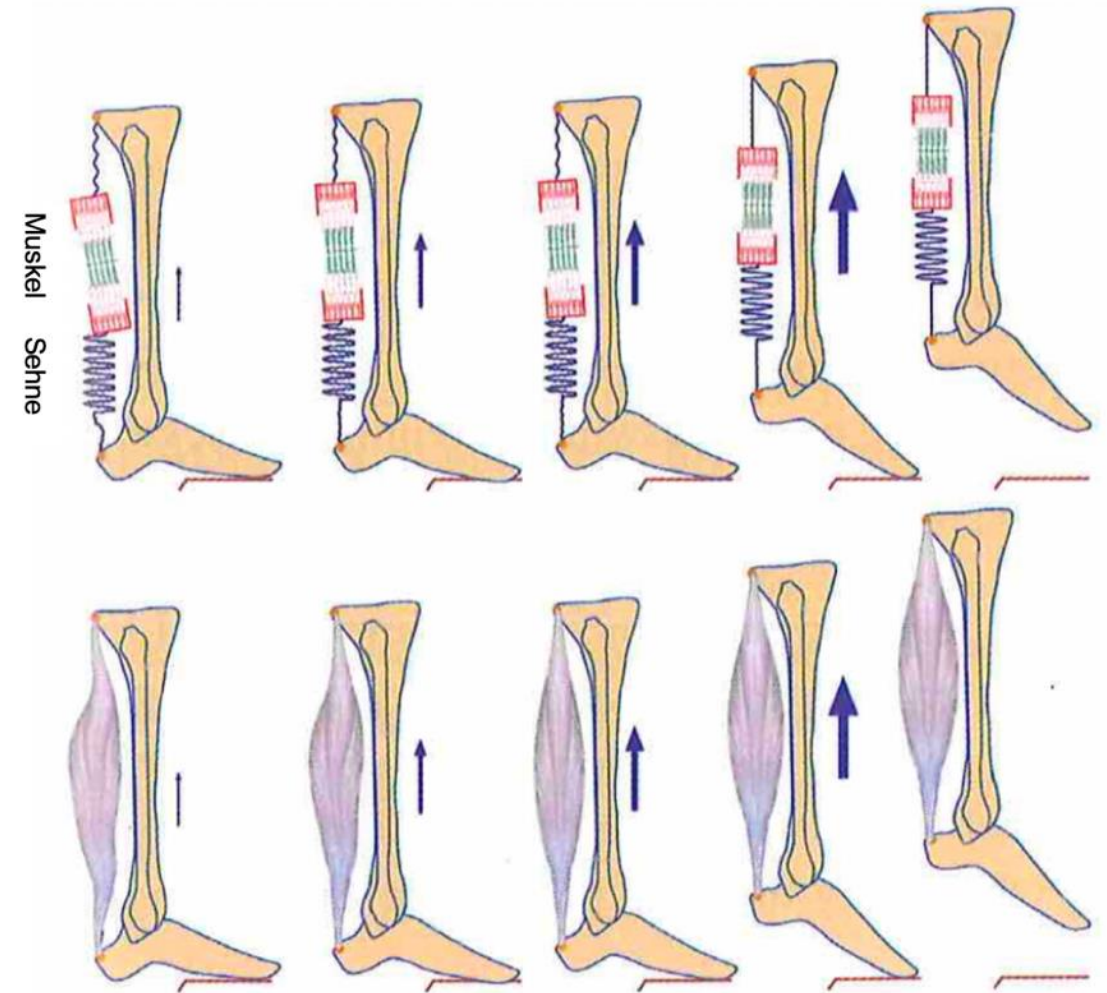
Bernhart (2012)



# Muscle Slack

«Les muscles sont suspendus dans le corps comme des cordes flasques et doivent d'abord être mis sous tension avant qu'une action musculaire efficace puisse avoir lieu»

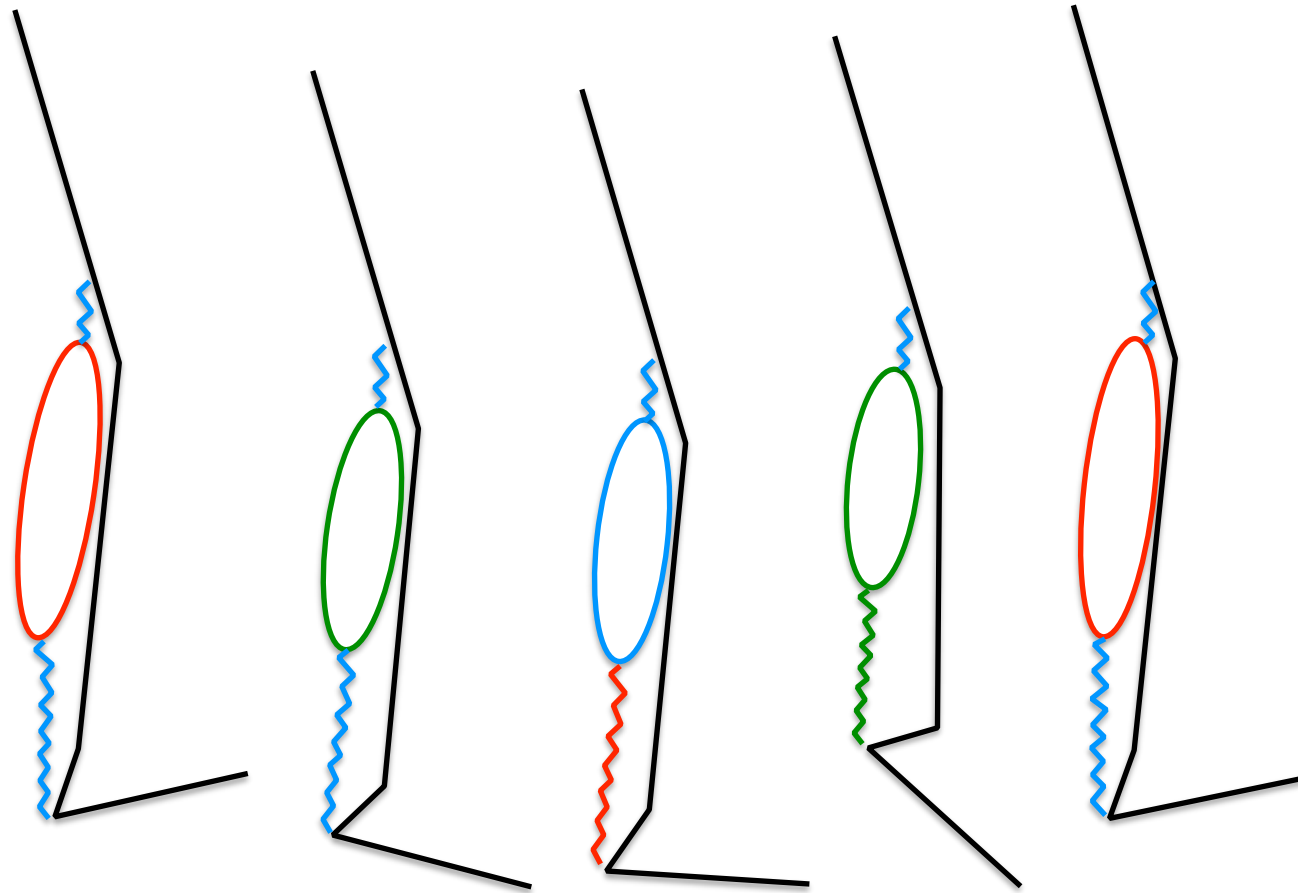
(Bosch, 2016, S. 77)







# Le cycle de pré-tension & étirement – raccourcissement



Allongement

Raccourcissement

Même longueur

nach Fukashiro et al. (2006)



# Principe de la force initiale

- Exemples ?!



Fotos SM U20/U23 2018: Ulf Schiller, Peter Mettler, Hans Spielmann



# Principe de la coordination des impulsions partielles

- Les impulsions des différents éléments du corps s'additionnent à **l'impulsion du centre de gravité.**
- Les mouvements isolés impliqués dans le mouvement doivent être **coordonnés de manière optimale dans le temps et dans l'espace.**
- 

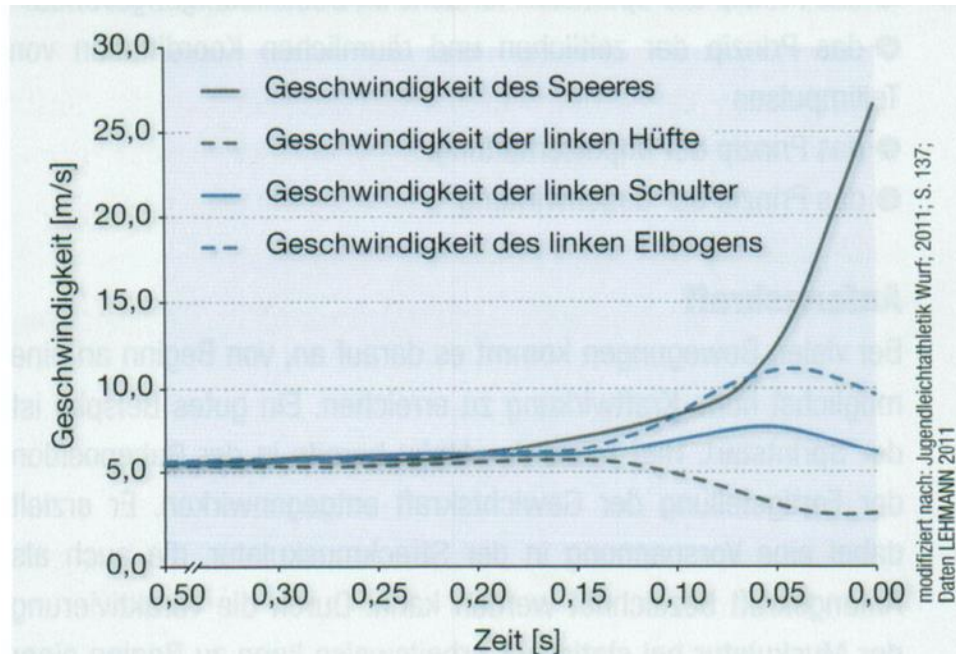
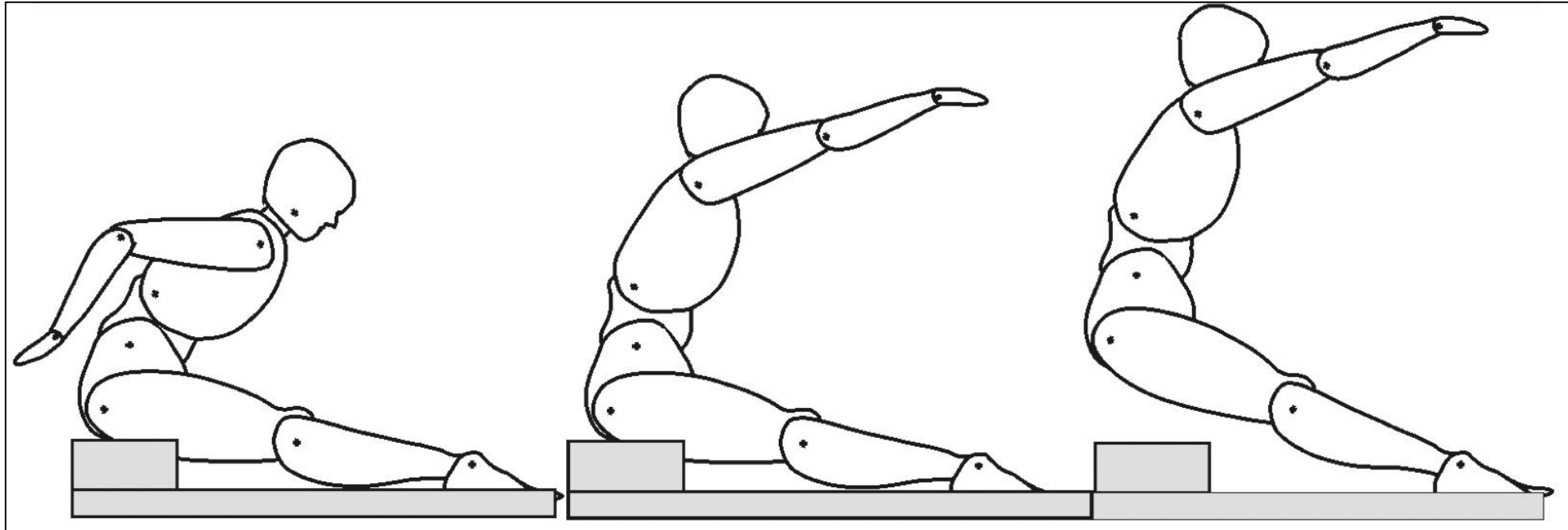


Bild: Bernhart (2012)



## Principe de la coordination des impulsions partielles : transmissions des impulsions



- Un élan puissant des bras vers le haut, un arrêt des bras vers l'horizontale **provoque une transmission d'impulsion** par la mise en tension du tronc





# Principe de la réaction

- Est conforme à la loi sur la réaction (Troisième loi newtonienne)
- Le **principe de la réaction** est utilisé pour maintenir des postures appropriées

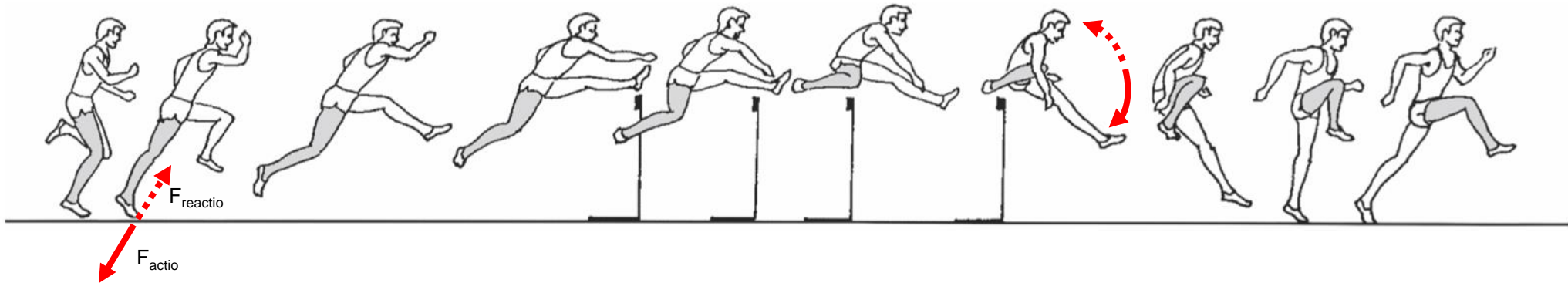


Bild: Swiss Athletics, 2020





# Principe de la conservation des impulsions

- Lorsqu'aucune force n'agit, une impulsion reste constante dans le temps.
- Lors de mouvements de rotation le **moment d'inertie** du corps peut être modifié à court terme et permet ainsi de **contrôler la vitesse angulaire**.

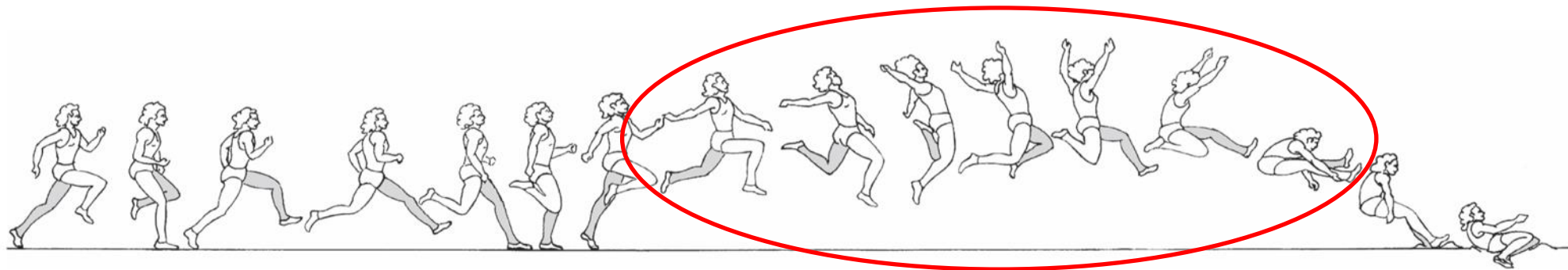
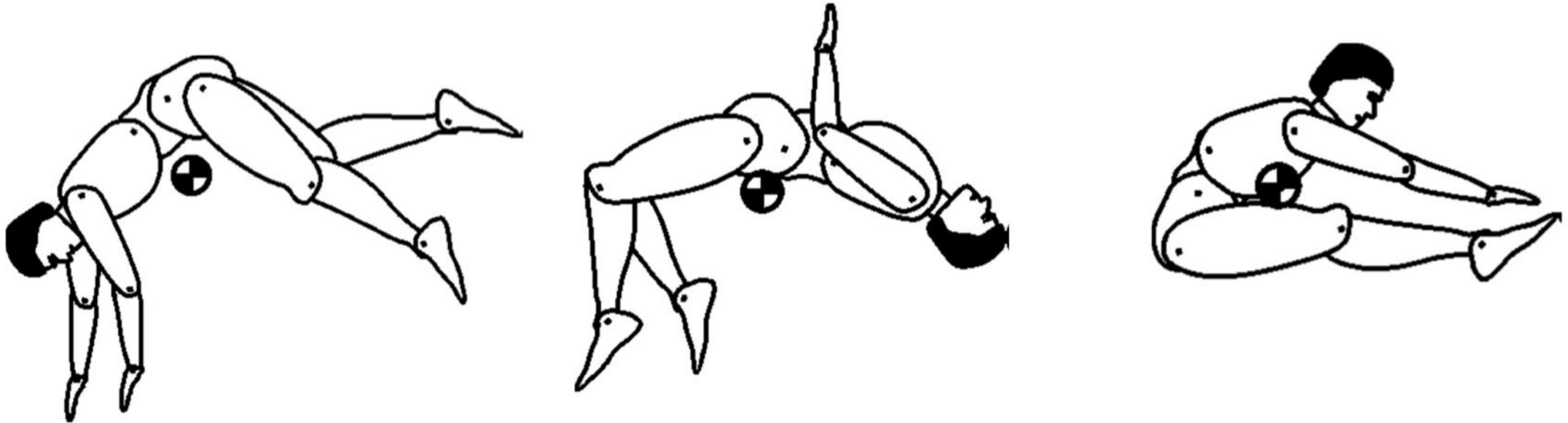


Bild: Swiss Athletics, 2020



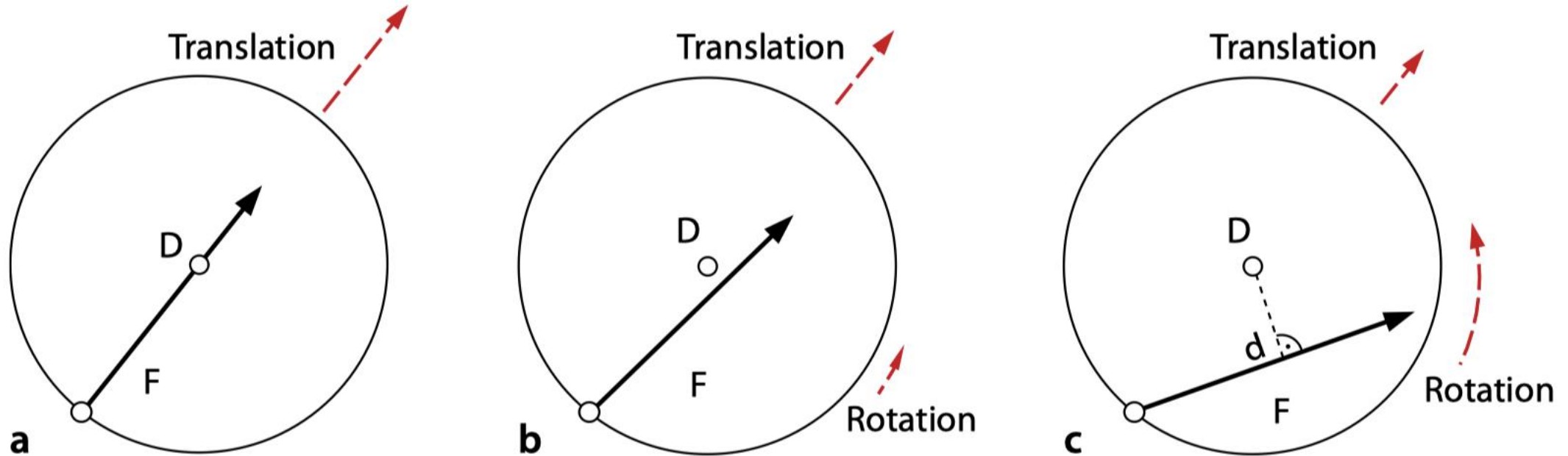
# Centre de gravité du corps



- La position du CG du corps ...
- ... est dépendant de la position des différents segments du corps.
- ... peut en conséquence se modifier avec un mouvement.
- ... peut également se situer en dehors du corps.



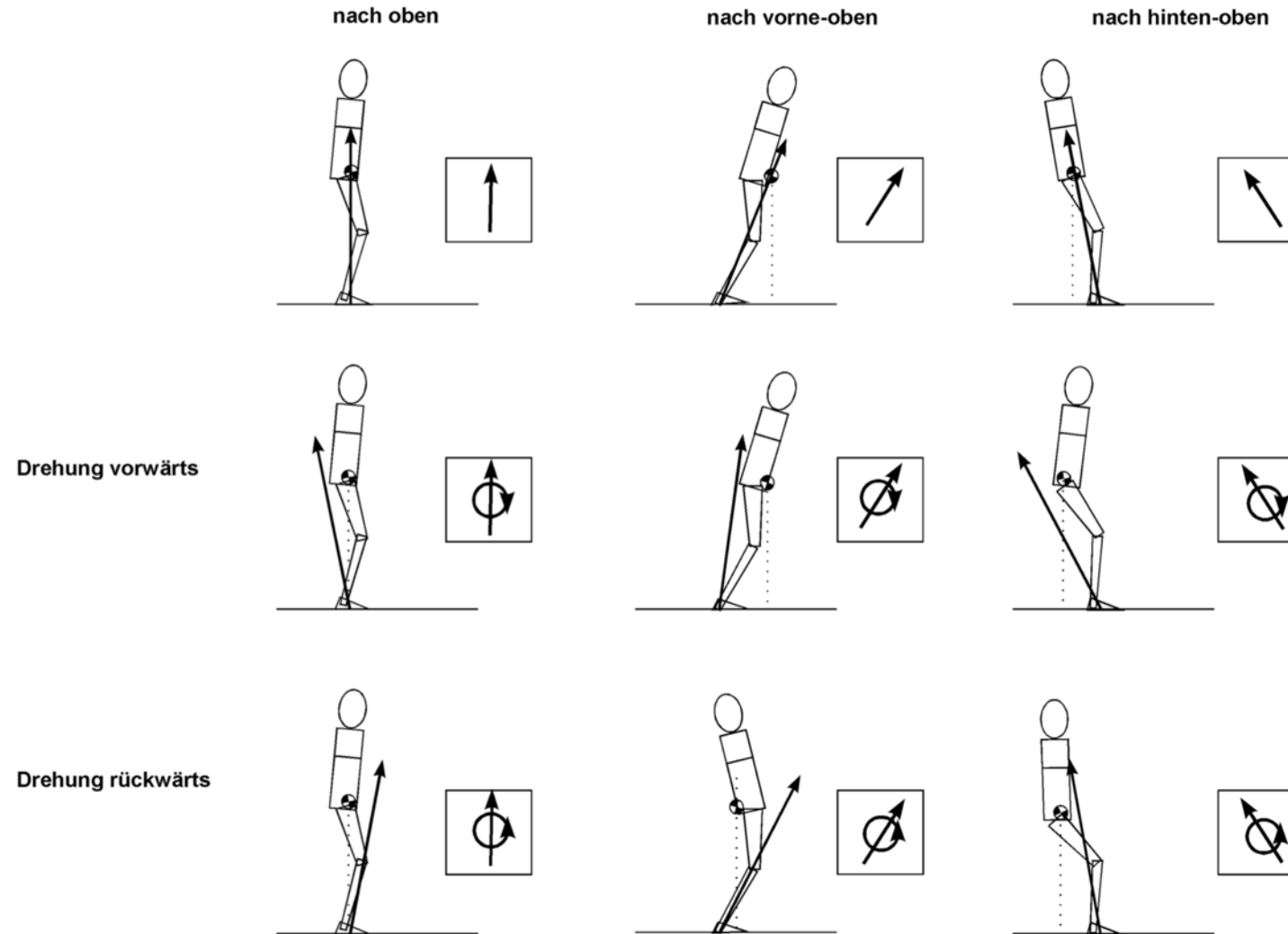
# Translation, Rotation et centre de gravité du corps



- Si la ligne d'action d'une force (F) passe par le centre de gravité (D) d'un corps librement mobile, la force conduit exclusivement à un mouvement de translation du corps.

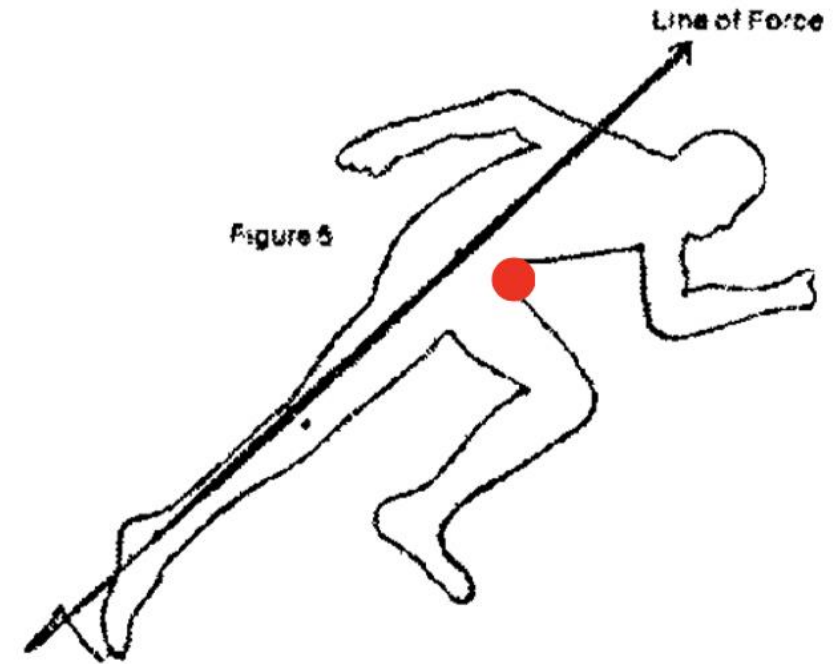
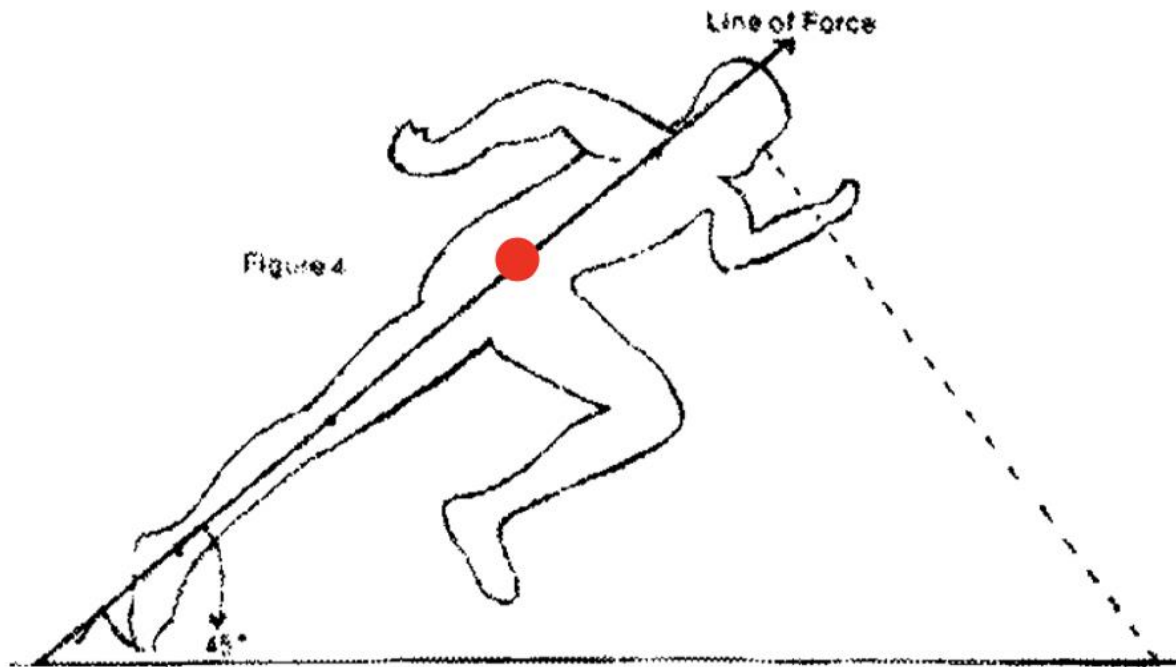


# Translation, Rotation et centre de gravité du corps





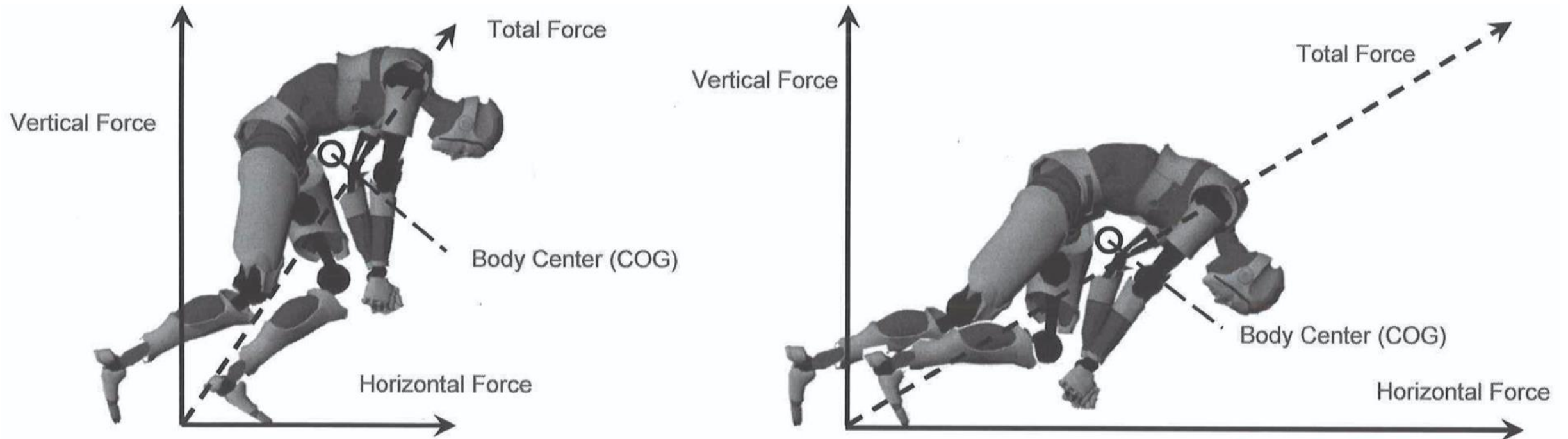
# Aspects biomécaniques du sprint (accélération)



Letzelter & Letzelter (2005)



# Aspects biomécaniques du sprint (accélération)



- La force maximale est décisive

•

Mann & Murphy (2015)



# Aspects biomécaniques du sprint (accélération)

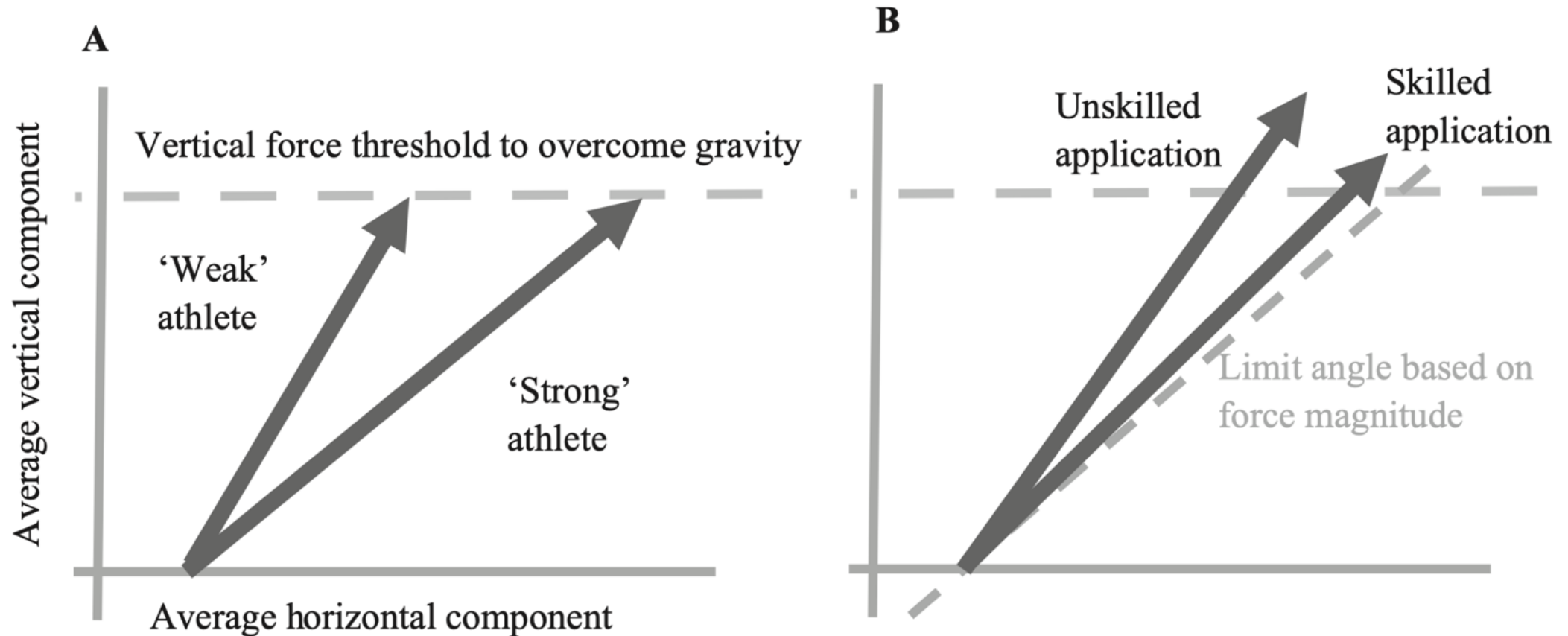


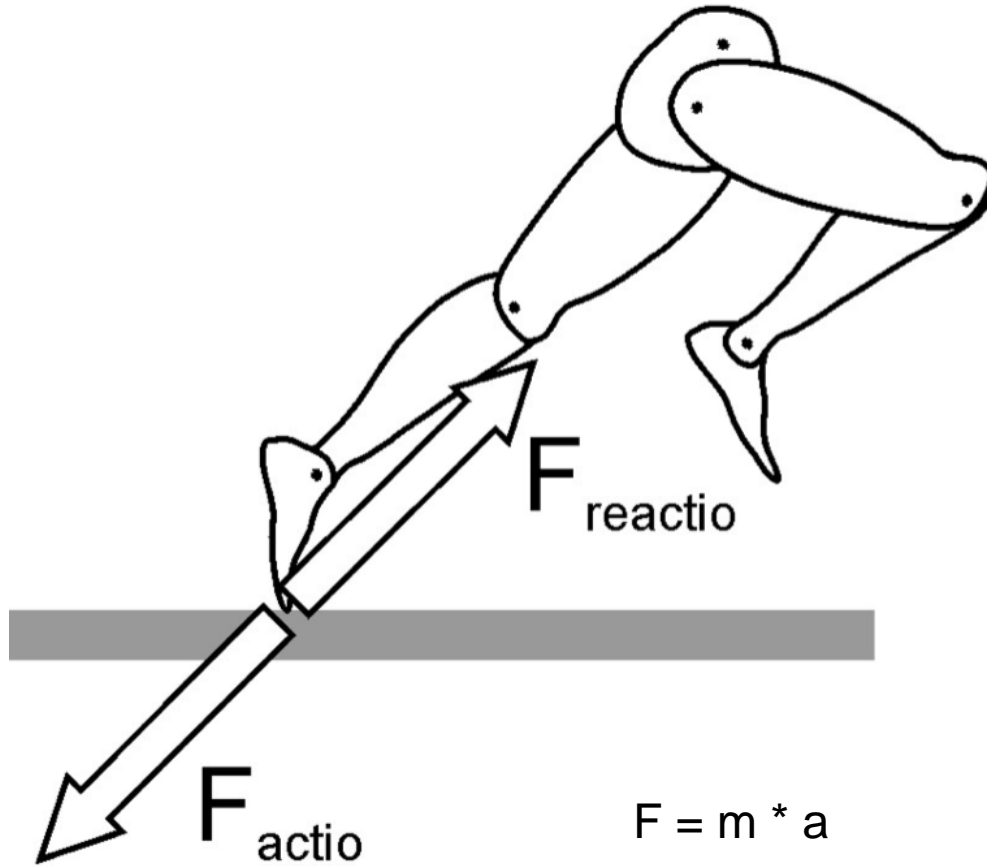
Figure 27.1 Average ground reaction force vector of two athletes during a step in the early acceleration phase

Goodwin et al. (2018)

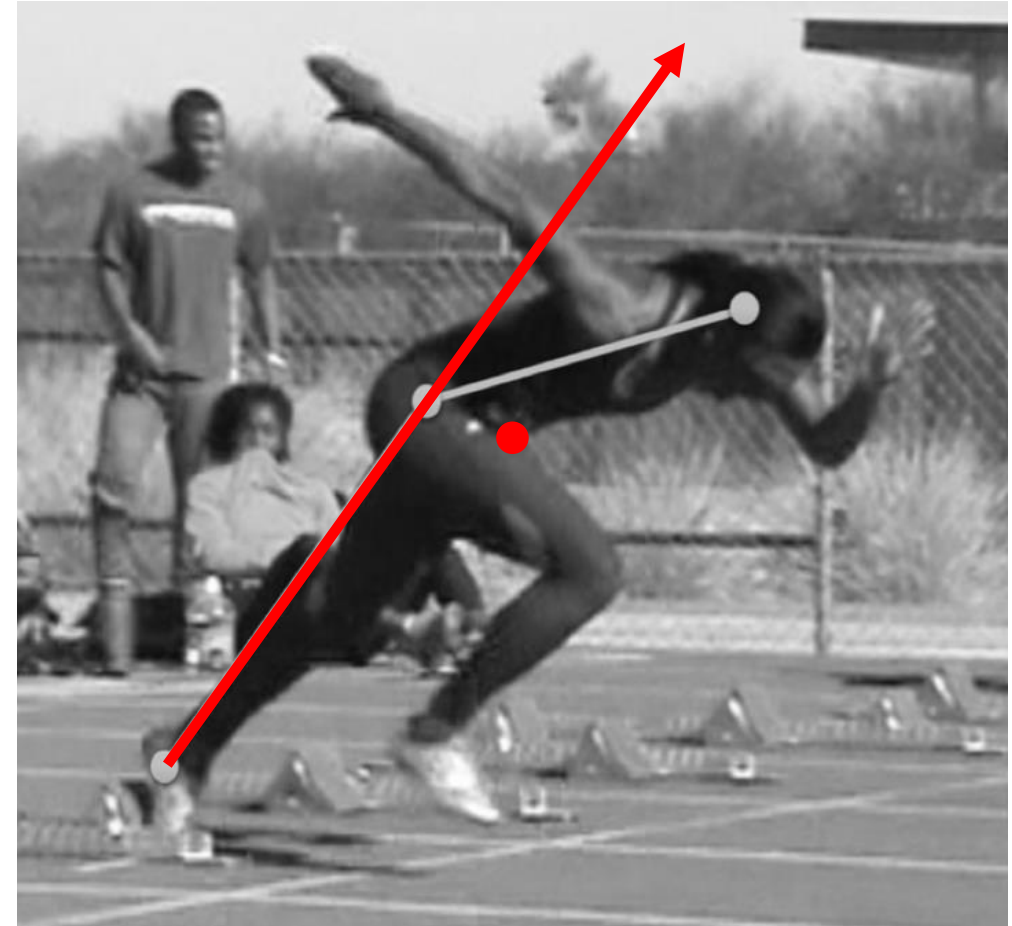




# Aspects biomécaniques du sprint (accélération)



- Pousser fortement vers l'arrière



- Adapter la force à la position penchée en avant

Göhner (2013)





# Aspects biomécaniques du sprint (accélération)

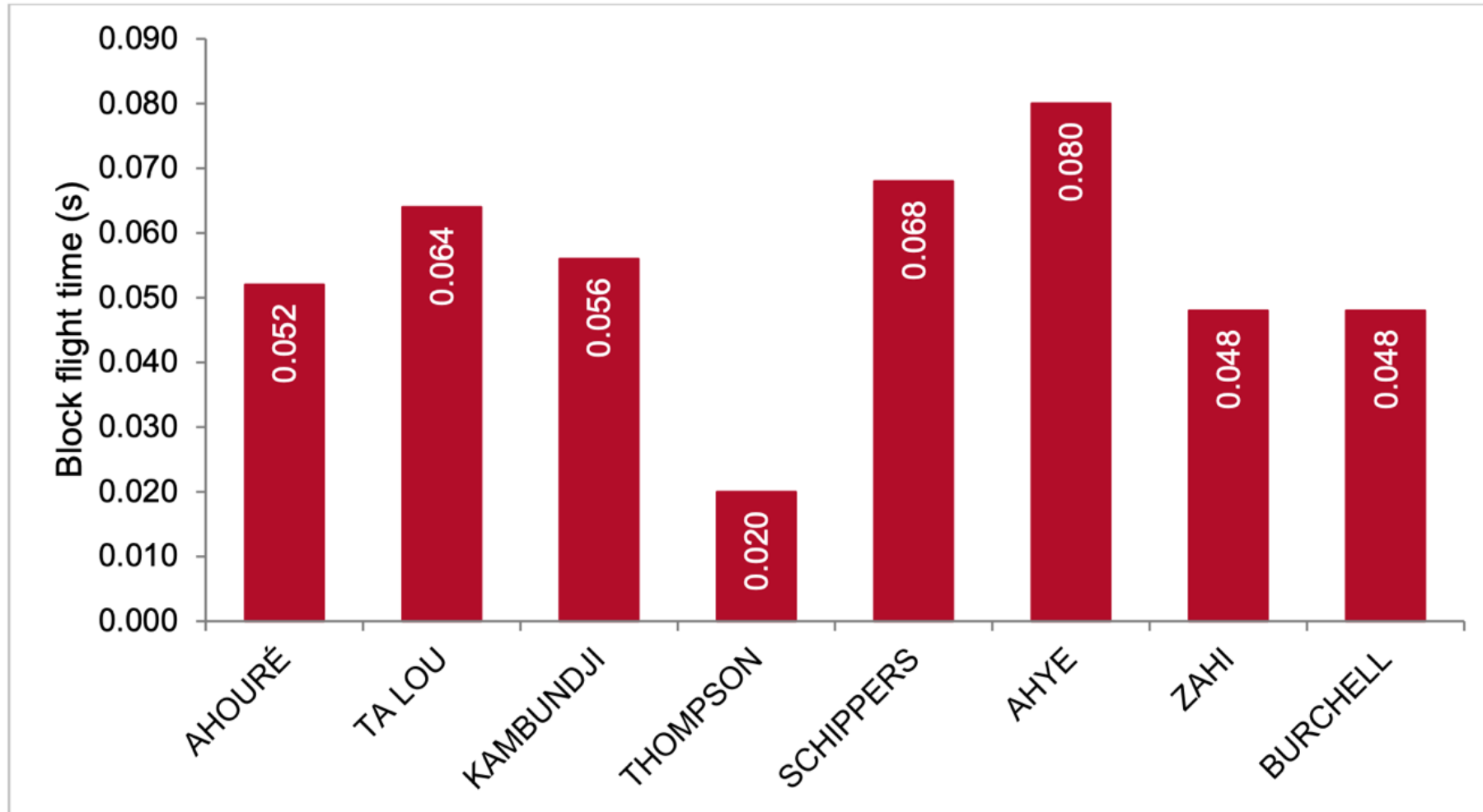


Figure 6. Block flight time (from block clearance to initial ground contact) for each of the finalists.

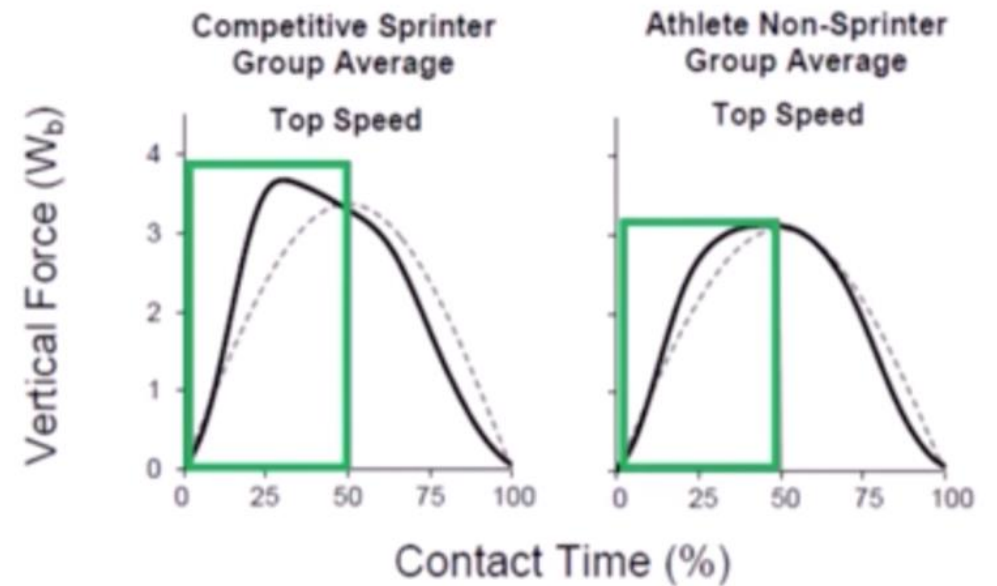
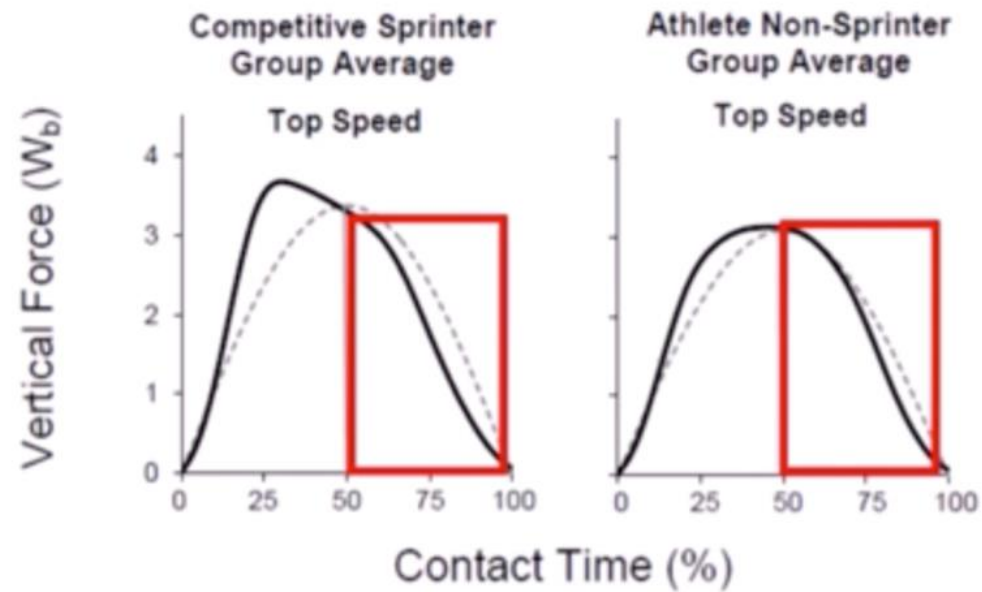
<https://www.worldathletics.org/download/download?filename=1062c381-6278-484f-bfaa-df42f4ab70f9.pdf&urlslug=Women's%2060m%20-%202018%20IAAF%20Indoor%20Championships%20Biomechanical%20Report>



# Aspects biomécaniques du sprint (Stiffness)

Forces in second half of contact are ~same

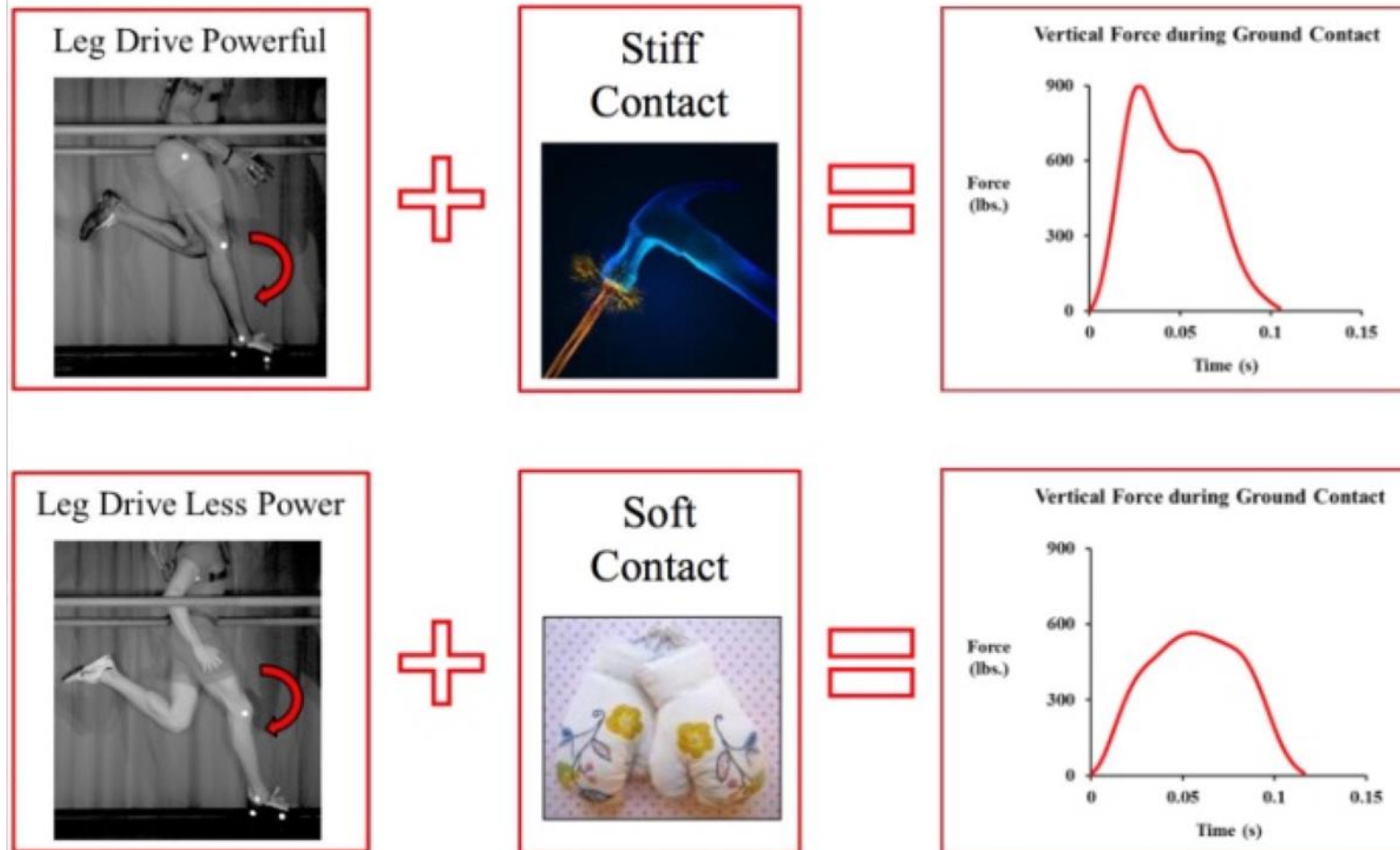
Sprinters: greater forces in first half of contact



Ken Clark in Pfaff, D., Vazel, P., McMillan, S., Behm, A., Tyler, K., Enyia, C., ... Boykin, M. (n.d.). Altis track & field education series: Coaching the short sprints.

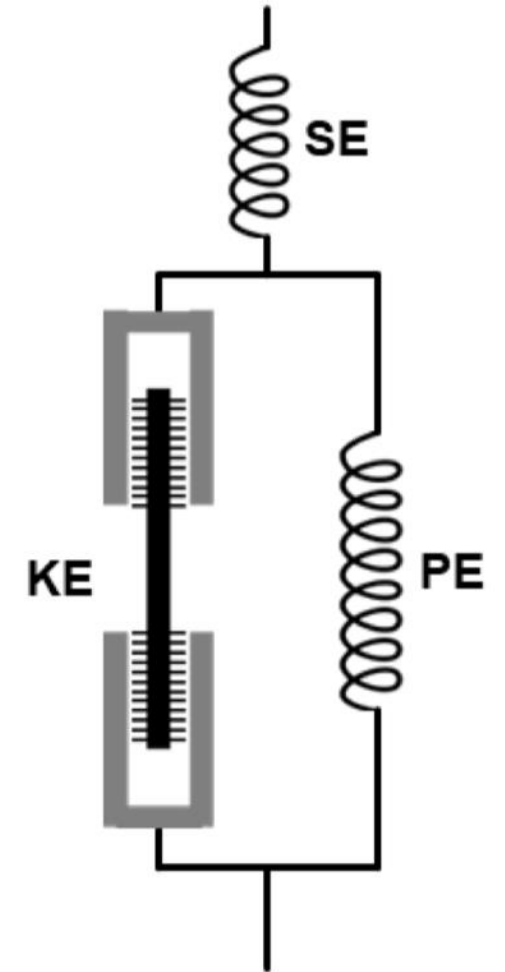
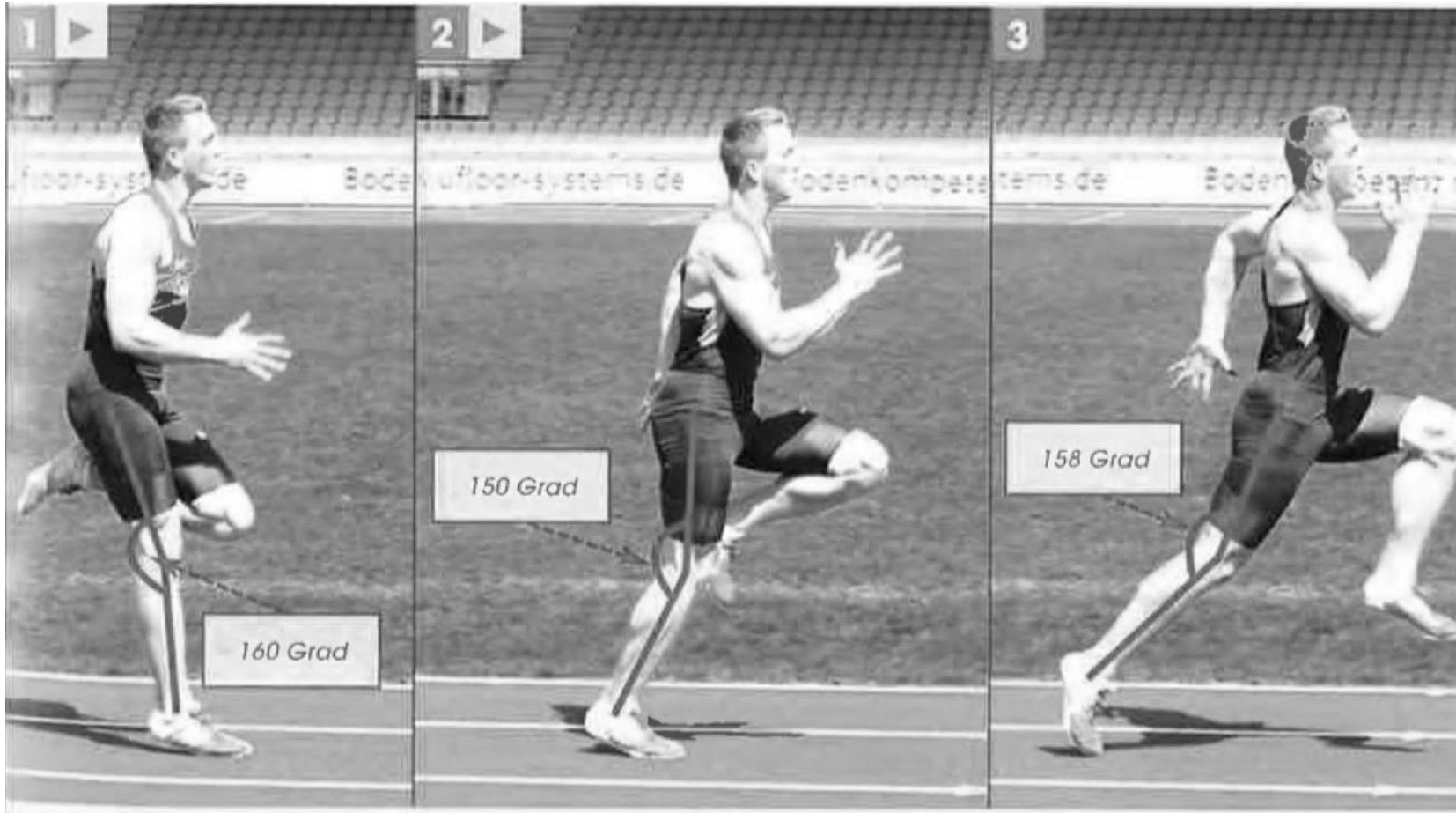


# Aspects biomécaniques du sprint (Stiffness)



Ken Clark in Pfaff, D., Vazel, P., McMillan, S., Behm, A., Tyler, K., Enyia, C., ... Boykin, M. (n.d.). Altis track & field education series: Coaching the short sprints.

# Aspects biomécaniques du sprint

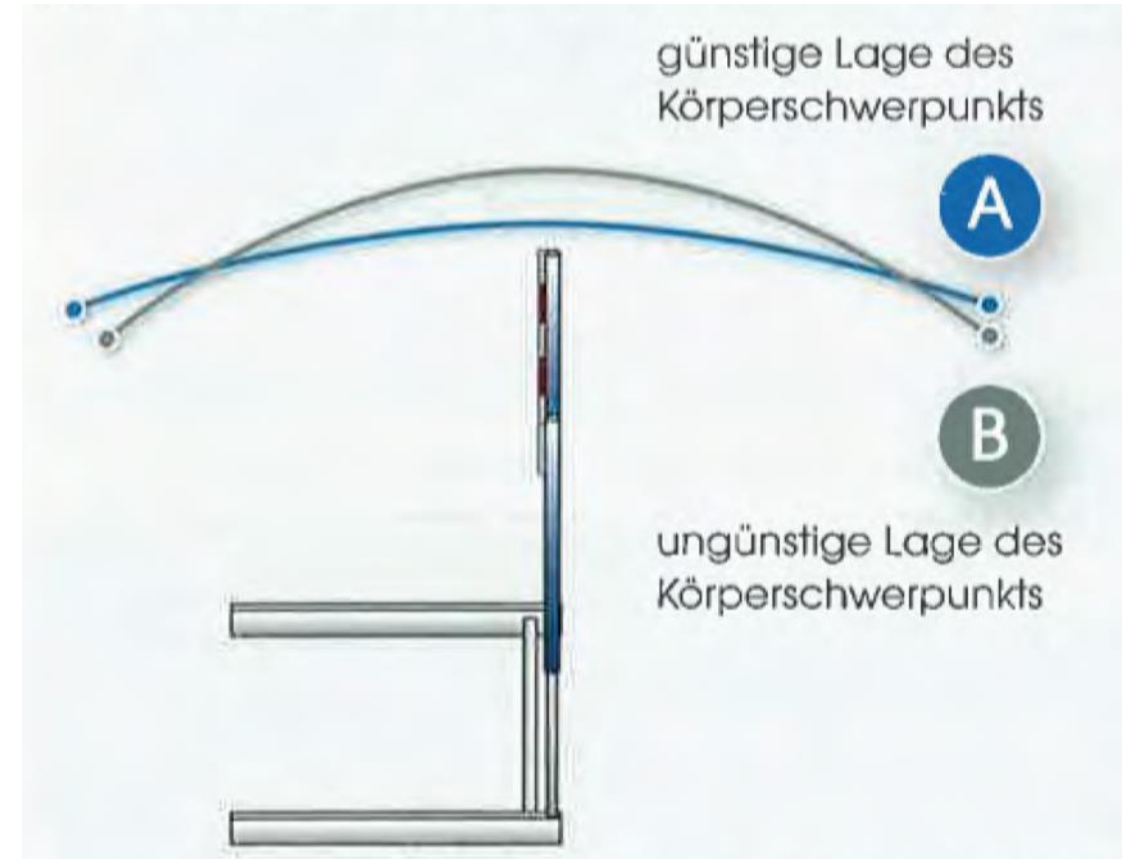


Killing et al., (2015); Künzell & Hossner (in prep.)



# Aspects biomécaniques de la course de haies

- **Objectif principal** : perdre le moins de vitesse possible à cause du franchissement des obstacles
- **Éviter les forces de freinage** lors de la poussée avant la haie et de la reprise de course après la haie
- 
- Franchir la haie **le plus à plat possible**
- 

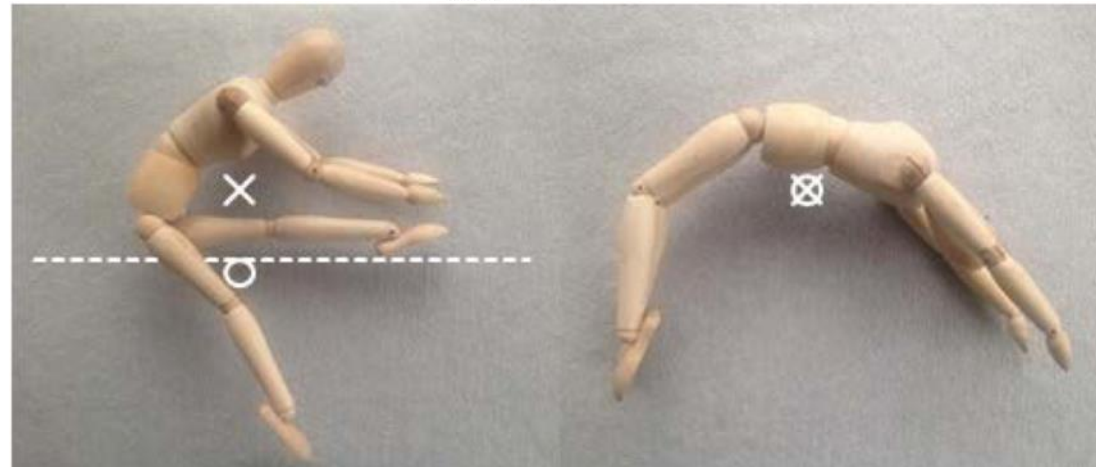
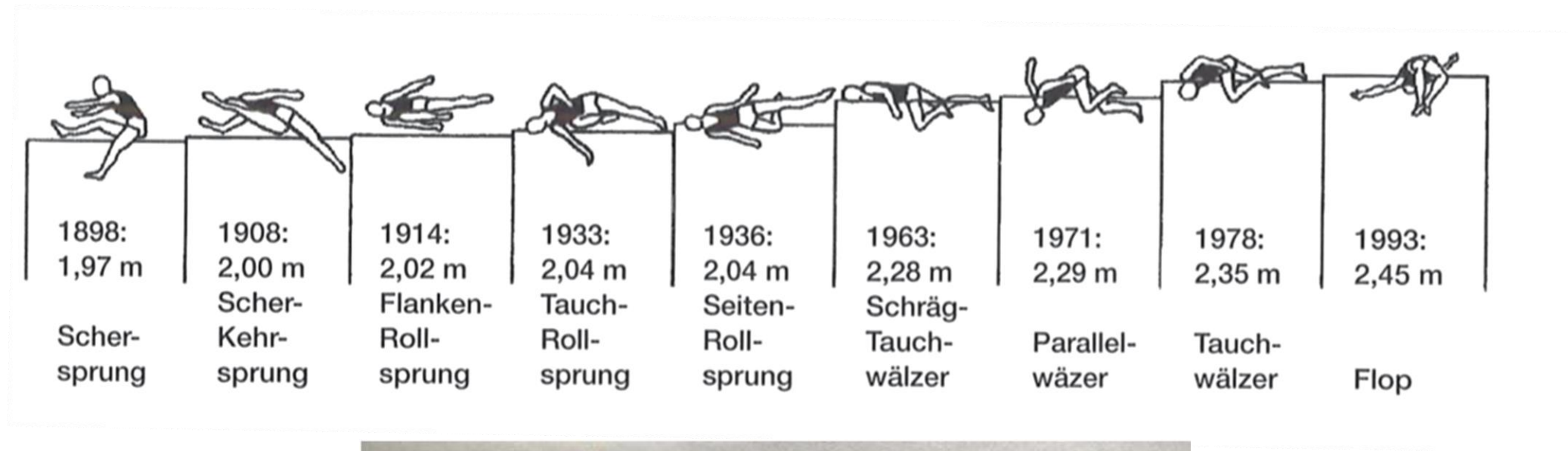


Killing et al. (2015); Strüder et al. (2013)





# Aspects biomécaniques du saut en hauteur

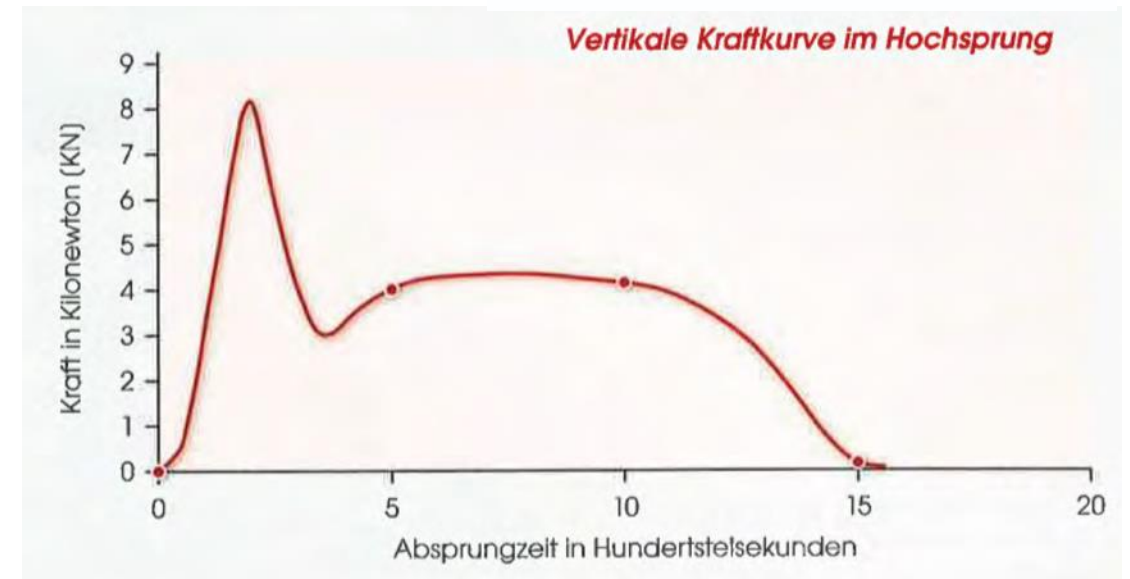
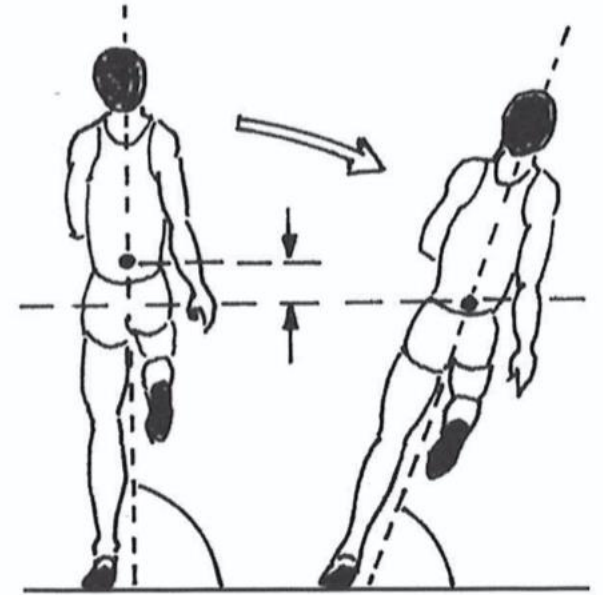


Strüder et al. (2013); Künzell & Hossner (in prep.)



# Aspects biomécaniques du saut en hauteur

- **Un grand chemin d'accélération vertical et un appel de courte durée** promettent une vitesse de l'appel plus élevée.
- Le chemin d'accélération doit être optimal, pas maximal !



Killing et al. (2015); Strüder et al. (2013)



# Aspects biomécaniques du saut en hauteur

- Vidéo

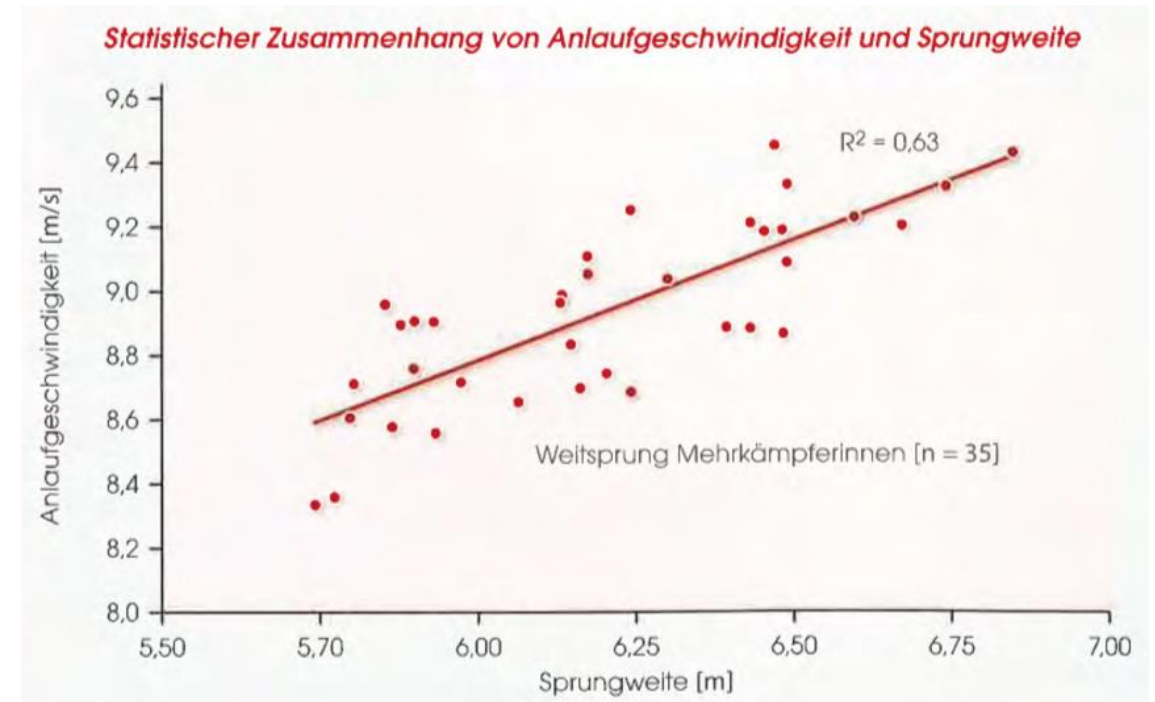
<https://www.youtube.com/watch?v=2CM9fDyJHOI>





# Aspects biomécaniques du saut en longueur

- Environ **70 pour cent** de la longueur de saut sont dus à des différences dans la **vitesse d'élan**.
- L'important, c'est une bonne technique de saut, qui évite les éléments de freinage.
- Le rythme de l'appel sert à abaisser le CG du corps



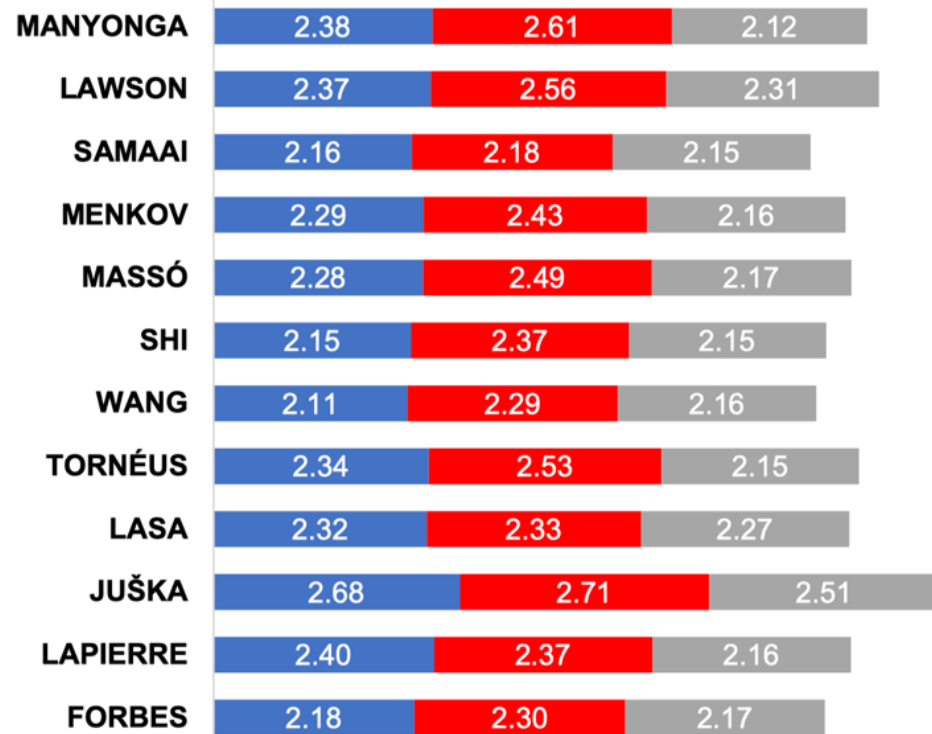
Killing et al. (2015)



# Aspects biomécaniques du saut en longueur

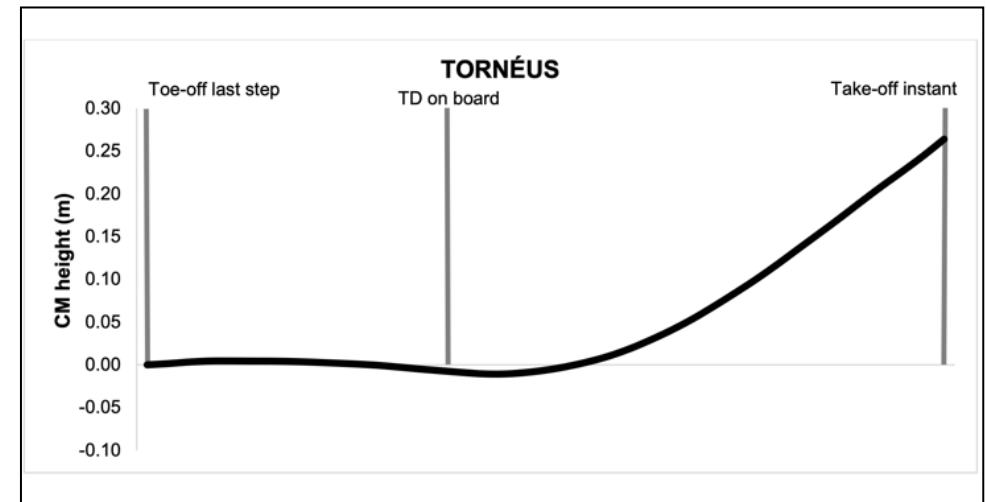
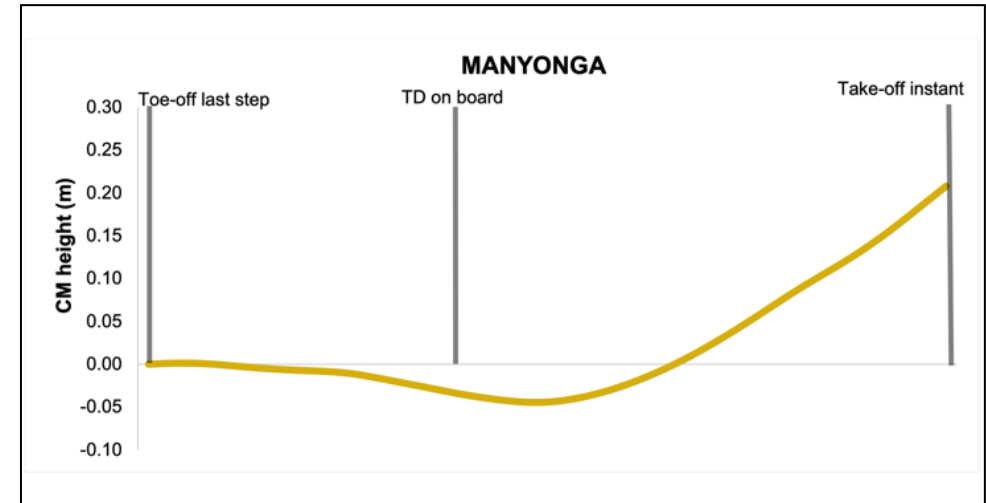
Step lengths of last three steps before take-off

■ 3rd last step length (m) ■ 2nd last step length (m) ■ Last step length (m)



Change in step length

3 <sup>rd</sup> last / 2 <sup>nd</sup> last (%)	2 <sup>nd</sup> last / last (%)
+10	-19
+8	-10
+1	-1
+6	-11
+9	-13
+10	-9
+9	-6
+8	-15
0	-3
+1	-7
-1	-9
+6	-6

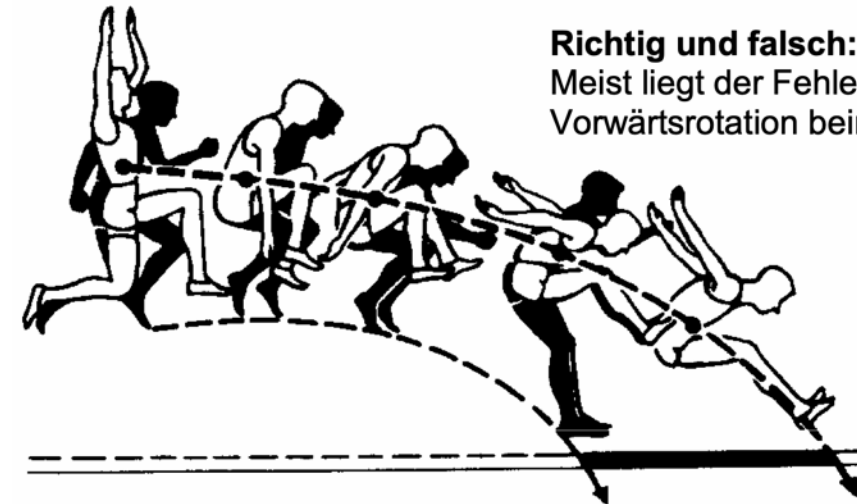


<https://www.worldathletics.org/download/download?filename=541b2212-f18d-4960-af2f-11d84609cfaa.pdf&urlslug=Men%27s%20long%20jump%20-%202017%20IAAF%20World%20Championships%20Biomechanical%20report>



# Aspects biomécaniques du saut en longueur

- Celui qui produit un moment de rotation vers l'avant lors du saut en longueur par une position du torse trop penchée en avant et un engagement insuffisant de la jambe d'élan ne peut plus arrêter cette impulsion de rotation dans l'air et tombe en avant lors de la réception (Kunz, 2003)

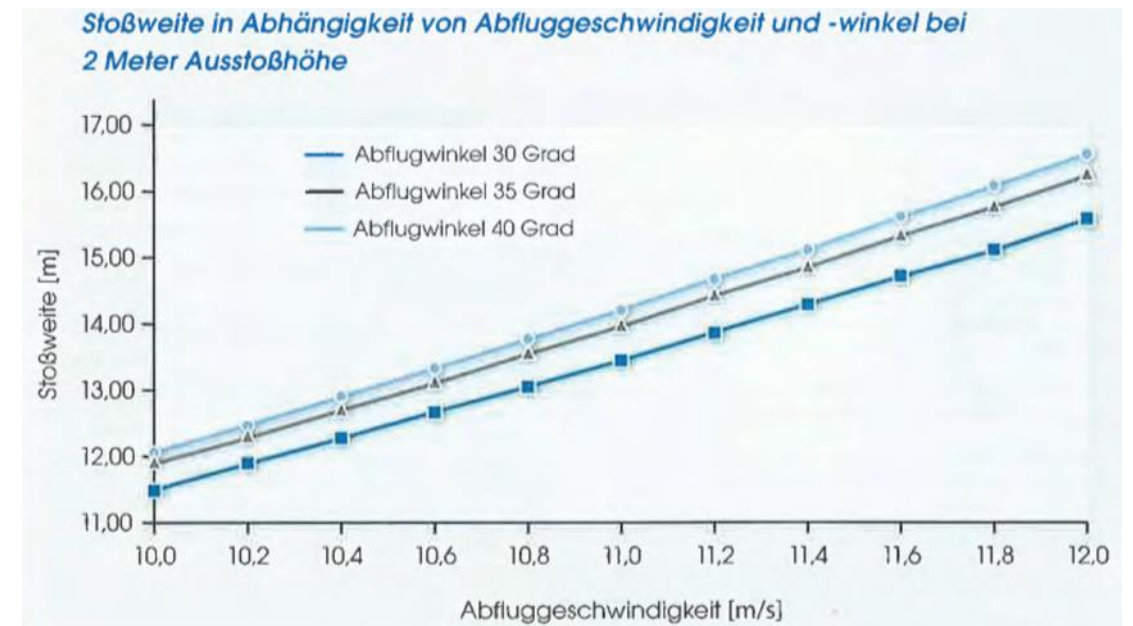
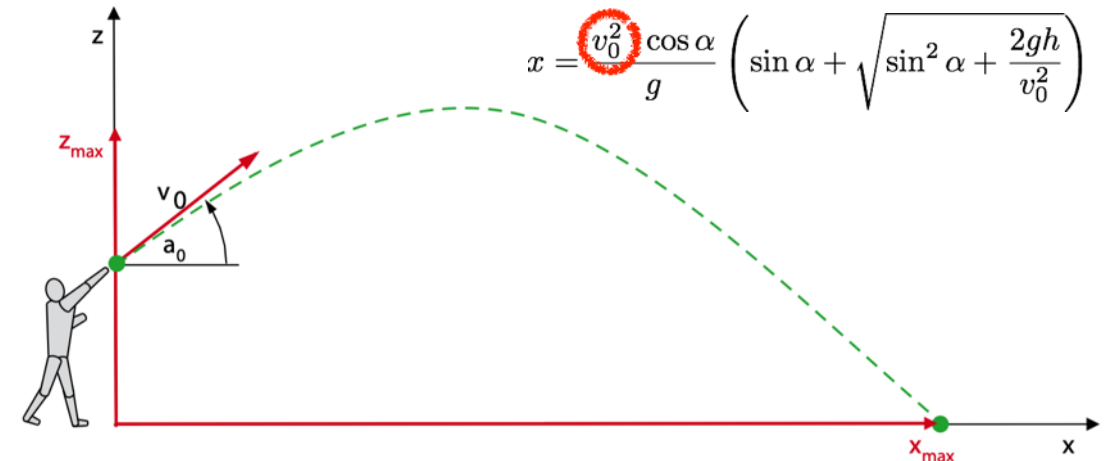


**Richtig und falsch:**  
Meist liegt der Fehler bereits in einer Vorwärtsrotation beim Absprung!



# Aspects biomécaniques du lancer du poids

- La longueur du vol dépend en premier lieu de la **vitesse d'éjection**, en second lieu de l'**angle d'éjection**, puis de la **hauteur d'éjection** (loi du tir oblique).
- Vitesse due au prolongement du chemin d'accélération



Killing et al. (2015); Schwameder et al., 2013



# Aspects biomécaniques du lancer du disque

- Les caractéristiques de vol du disque sont déterminées par les facteurs d'angle du lancer et du disque lui-même, la rotation propre de l'engin et les conditions de vent.
- Le disque n'est stable que s'il est mis en rotation.
- Plus la torsion est forte, plus le chemin d'accélération est grand.

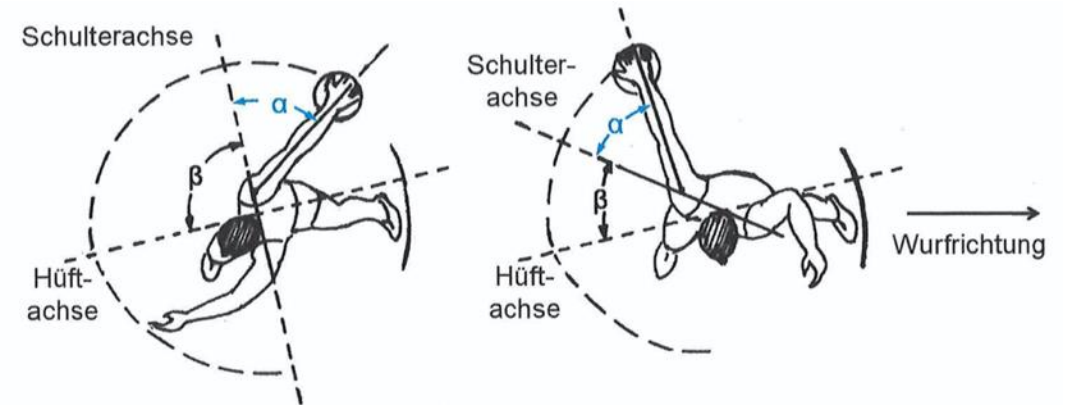


Abb. 14: Unterschiede in der Wurfauslage hinsichtlich des Schleppens ( $\alpha$ ) und der Verwindung ( $\beta$ ) mit entsprechender Auswirkung auf den Beschleunigungsweg.

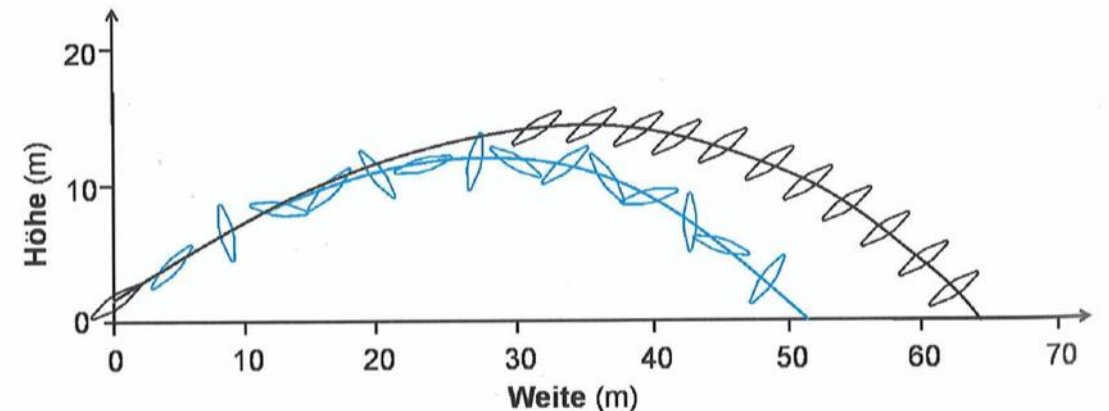


Abb. 20: Flugbahn bei gleicher Abfluggeschwindigkeit eines Diskus mit Rotation um die Symmetrieachse und günstiger Fluglage sowie eines Diskus ohne stabile Rotation (modifiziert nach Soong, 1982, zitiert nach Wank, 2006, S. 134)

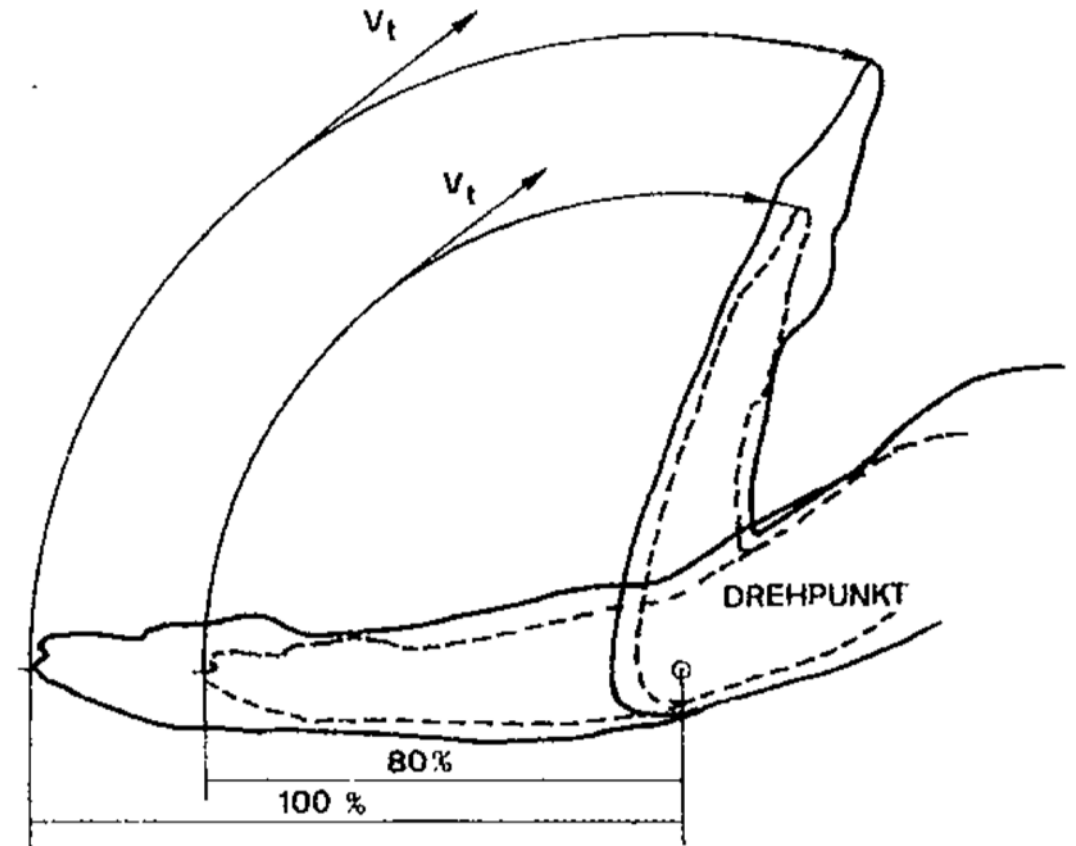
Strüder et al. (2013)



# Aspects biomécaniques du lancer du disque

- De grandes vitesses tangentielles peuvent être atteintes avec de longs bras de levier, respectivement de grands rayons lors de mouvements de rotation, pour autant que la force soit disponible pour déplacer rapidement les longs leviers

(exemples: Lancer du disque, lancer du marteau).

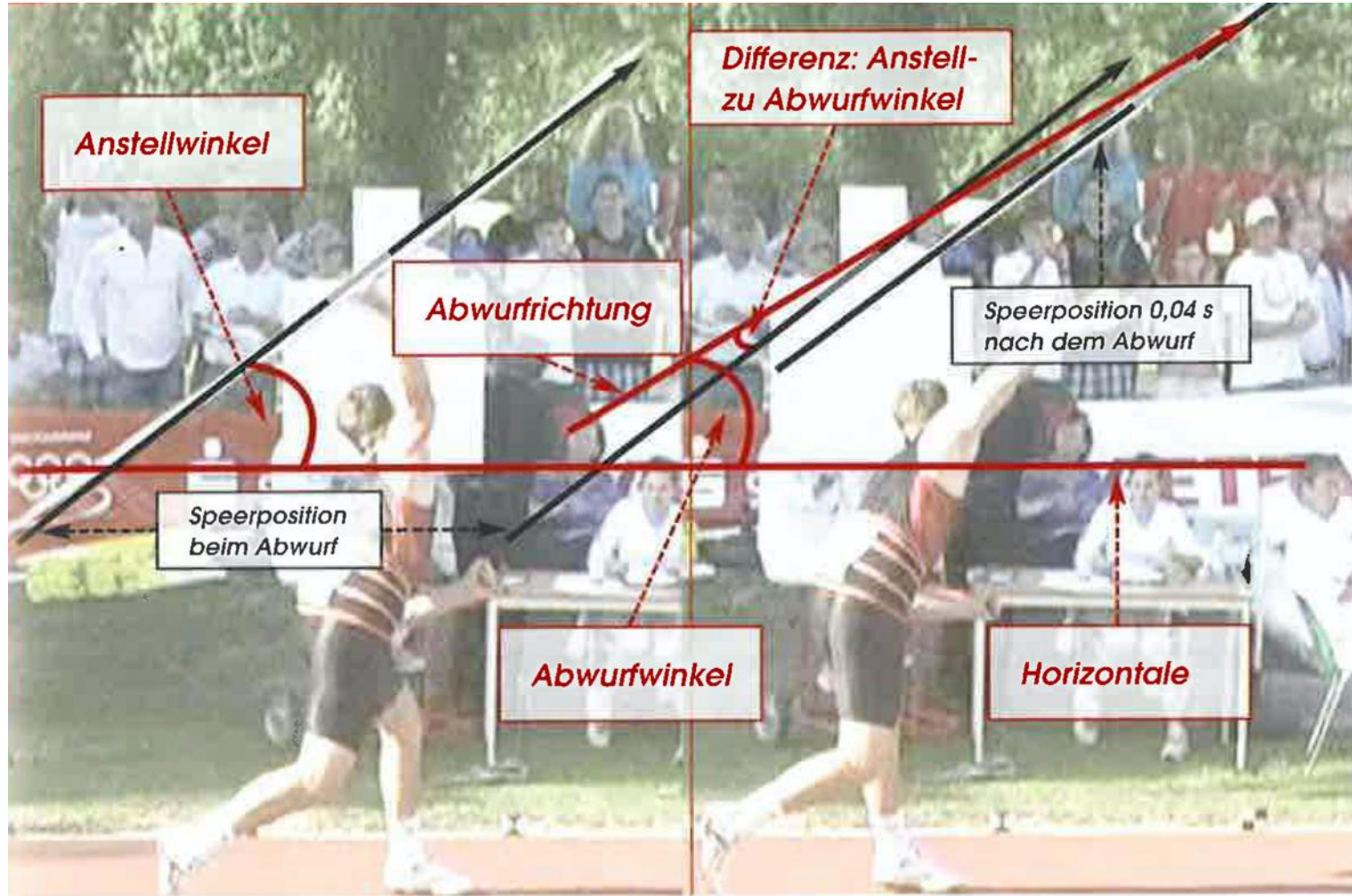


Kunz (2003)





# Aspects biomécaniques du lancer du javelot

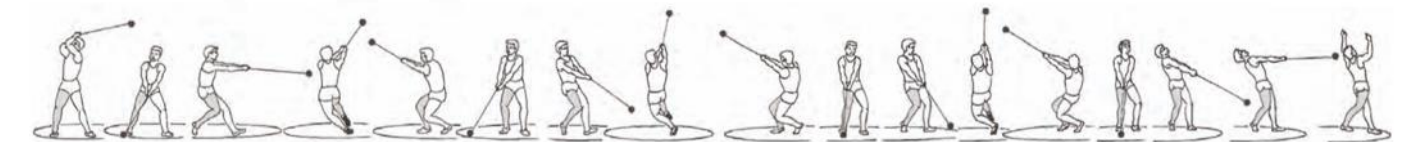
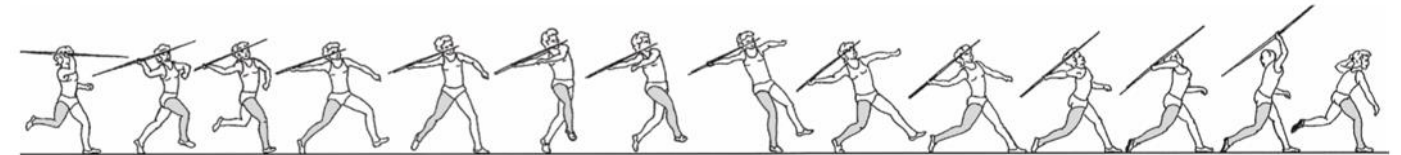
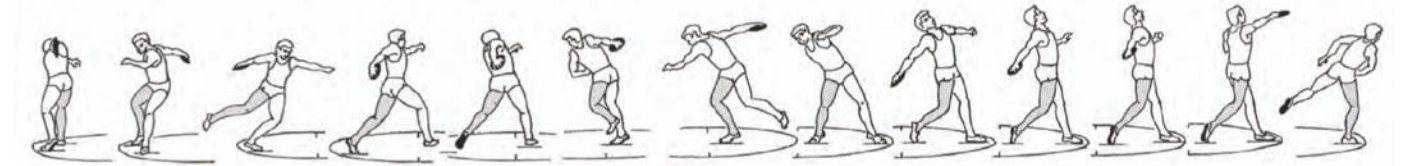
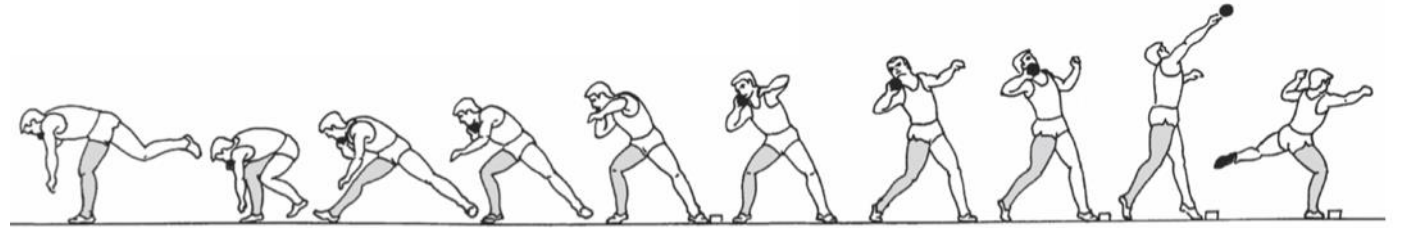


Killing et al. (2015)



# Angle d'envol optimal

- Lancer du poids : 40-42°
- Lancer du disque : 33-36°
- Lancer du javelot : 35-38°
- Lancer du marteau : 42-44°




Kunz (2003); Swiss Athletics (2020)





# Biomechanical Report



IAAF World Championships  
**LONDON 2017**




**BIOMECHANICAL REPORT**  
FOR THE  
IAAF World Championships  
**LONDON 2017**  
**High Jump Men's**

Dr Gareth Nicholson and Dr Athanassios Bissas  
Carnegie School of Sport

Stéphane Merlino  
IAAF Project Leader



IAAF World Indoor Championships  
**BIRMINGHAM 2018**  
**1-4 MARCH**





**BIOMECHANICAL REPORT**  
FOR THE  
IAAF  
**WORLD INDOOR CHAMPIONSHIPS 2018**  
**60 Metres Women**


Josh Walker<sup>1</sup>, Dr Catherine Tucker<sup>1</sup>, Dr Giorgos Paradisis<sup>2</sup>, Dr Ian Bezodis<sup>3</sup>  
and Dr Athanassios Bissas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Carnegie School of Sport <sup>2</sup>NKUA <sup>3</sup>Cardiff Metropolitan University

Stéphane Merlino  
IAAF Project Leader





IAAF World Championships  
**LONDON 2017**



**BIOMECHANICAL REPORT**  
FOR THE  
IAAF World Championships  
**LONDON 2017**  
**Discus Throw Men's**

Dr Tim Bennett, Josh Walker and Dr Athanassios Bissas  
Carnegie School of Sport

Stéphane Merlino  
IAAF Project Leader



<https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>



# Littérature

- Bernhart, J. (2012). Was KSP, Trägheit & Co bedeuten. *Leichtathletiktraining*, (7), 18–23.
- Bosch, F. (2016a). *Strength Training and Coordination: An Integrative Approach*. Rotterdam: 2010Publishers.
- Bosch, F. (2016b). Das Feintuning der motorischen Kontrolle. In D. Joyce & D. Lewindon (Eds.), *Athletiktraining für sportliche Höchstleistung* (pp. 133–147). München: Riva.
- Göhner, U. (2013). *Sportliche Bewegungen erfolgreich analysieren*. Tübingen: Eigenverlag.
- Goodwin, J., Tawiah-Dodoo, J., Waghorn, R., & Wild, J. (2018). Sprint running. In A. Turner (Ed.), *Routledge Handbook of Strength and Conditioning* (pp. 473–505). Milton Park: Routledge.
- Hochmuth, G. (1981). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sportverlag.
- Killing, W., Bernhart, J., Buder, K., Eberle, F., Flakus, K., Hallmann, C., & Kühne, W. (2015). *Jugendleichtathletik Mehrkampf: Rahmentrainingsplan des Deutschen Leichtathletik-Verbandes für die Mehrkampfdisziplinen im Aufbautraining*. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Kunz, H. (2003). *Biomechaniker der Leichtathletik*. Lyss: Schweizerischer Leichtathletik-Verband.
- Künzell, S., & Hossner, E.-J. (in perp.). *Einführung in die Bewegungswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Letzelter, M., & Letzelter, S. (2005). *Der Sprint. Eine Bewegungs- und Trainingslehre*. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität.
- Mann, R., & Murphy, A. (2015). *The mechanics of sprinting and hurdling*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Schwameder, H., Alt, W., Gollhofer, A., & Stein, T. (2013). Struktur sportlicher Bewegung – Sportbiomechanik. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Sport - Das Lehrbuch für das Sportstudium* (S. 123–170). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Strüder, H., Jonath, U., & Scholz, K. (2013). *Leichtathletik. Trainings- und Bewegungswissenschaft - Theorie und Praxis aller Disziplinen*. Köln: Strauss.



# Littérature (en français)

