

Science & Sports 2002; 17: 1-8

© 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés

S0765-1597(02)00124-7/FLA

Article original

Relations force–vitesse et performances en sprint chez des athlètes entraînés

Jean-Benoît Morin^{1*}, Frédérique Hintzy¹, Alain Belli¹, Frédéric Grappe²¹ Laboratoire de physiologie-GIP exercice, C.H.U. St-Jean-Bonnefonds Pavillon 12, 42055 Saint-Etienne cedex 2, France; ² Laboratoire des sciences du sport, UFR STAPS, place St-Jacques, 25000 Besançon, France

(Reçu le 15 mars 2001 ; accepté le 10 octobre 2001)

Résumé

Objectifs – Le but de cette expérimentation était d'étudier les relations entre les variables mécaniques de force, vitesse et puissance maximales développées lors de sprints courts sur bicyclette ergométrique et les performances chronométriques lors de départs en starting-blocks en sprint en course à pied chez des sujets sprinters masculins entraînés.

Méthodes – Sept sprinters espoir de niveau interrégional ont réalisé dans un ordre aléatoire trois sprints de 6 s sur bicyclette ergométrique contre des forces de friction de 0,4, 0,6 et 0,8 N.kg⁻¹ ainsi que trois départs en starting-blocks sur 30 m. Les valeurs maximales de force, de vitesse et de puissance développées sur bicyclette ergométrique et les temps à 5, 10 et 30 m en sprint ont été mesurés.

Résultats – Les vitesses moyennes entre 5 et 10 m et à 10 m sont significativement proportionnelles à la puissance maximale relative à la masse corporelle ($r = 0,931$; $p < 0,01$ et $r = 0,886$; $p < 0,01$ respectivement).

Conclusion – La puissance maximale relative à la masse corporelle (i.e., l'explosivité) des membres inférieurs mesurée lors de sprints sur bicyclette ergométrique semble être un facteur déterminant lors du début de la mise en action en sprint (entre 5 et 10 m) chez ces athlètes. © 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

cycloergomètre / puissance mécanique externe / relations force–vitesse / sprint / vitesse de course

Summary – Force–velocity relationships and sprint running performances in trained athletes.

Purpose – The purpose of the present study was to examine the relationships between mechanical values (maximal velocity, force and power) generated on a cycle ergometer and sprint performance during the acceleration phase of a sprint start, using starting-blocks in trained male athletes.

Methods – 7 male athletes volunteered to perform in a randomised order three 6 s sprints on a cycle ergometer against 0.4, 0.6 and 0.8 N.kg⁻¹ resistive loads and three 30 m sprint starts. Maximal values of force, velocity and power generated on cycle ergometer and 5, 10 and 30 m times were recorded.

Results – Average running speeds between 5 and 10 m and at 10 m were significantly related to maximal power per body mass ($r = 0.931$; $p < 0.01$ and $r = 0.886$; $p < 0.01$, respectively).

Conclusion – Maximal power of the lower limbs related to body mass (measured during sprints on a cycle ergometer) seems to be a determinant variable for the very beginning of the initial acceleration phase (between 5 and 10 m) in sprint running, in this athletes group. © 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

cycle ergometer / force–velocity relationships / mechanical power output / running speed / sprint running

* Correspondance et tirés à part : laboratoire de physiologie-GIP exercice, C.H.U. St-Jean-Bonnefonds Pavillon 12, 42055 Saint-Etienne cedex 2, France.

Adresse e-mail : Jean.Benoit.Morin@univ-st-etienne.fr (J.-B. Morin).

1. INTRODUCTION

Lors du départ avec starting-blocks pour un 100 m plat, les sprinters de haut niveau passent d'une vitesse nulle à des vitesses instantanées d'environ $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (environ $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) en trois à quatre secondes [28]. Cette phase du sprint, couramment appelée mise en action, s'étend de la poussée dans les starting-blocks après réaction au signal sonore, à l'atteinte de la vitesse maximale de course, sur des distances de 35 à 40 m environ [11, 19, 23]. La vitesse de course est alors plus ou moins décroissante jusqu'à la fin de la course. Des corrélations entre les temps sur les premiers mètres de course et la performance finale [19, 23] ont montré que le départ est la phase déterminante de la performance en sprint. Les analyses du sprint le décomposent le plus souvent en trois phases [11, 19, 28]. La première phase appelée accélération initiale s'étend de 0 à 10 m environ. Le sprinter doit alors fortement accélérer sa masse corporelle, et donc produire une force importante. La deuxième phase est marquée par une accélération plus modérée et la recherche de la vitesse maximale de course, atteinte entre 36 et 40 m environ soit au bout de 3 à 4 s [10, 19]. La troisième phase s'étend de l'atteinte de la vitesse maximale à la fin de la course. Durant cette phase, la vitesse de course demeure constante puis tend à diminuer. Au cours de la première et de la deuxième phase du sprint, la force produite par les membres inférieurs tend à diminuer, alors que la vitesse gestuelle augmente [19].

La nature de cet effort maximal d'explosivité des membres inférieurs chez les sprinters de haut niveau pourrait être comparée à l'explosivité développée par les muscles extenseurs des membres inférieurs lors d'un test de force-vitesse sur bicyclette ergométrique. En effet, la relation force-vitesse permet de déterminer de manière indirecte les propriétés mécaniques musculaires des membres inférieurs des sportifs lors d'efforts de très courte durée [14, 20, 21, 25–27]. Lors de sprints sur bicyclette ergométrique, la force motrice (F) produite est maximale dès les premiers coups de pédale, et diminue ensuite. La vitesse de pédalage (V) augmente parallèlement pour atteindre une valeur maximale, se stabiliser, et diminuer après 5 à 6 s. La puissance mécanique externe (P), produit des deux précédentes variables, décrit une évolution de type parabolique au cours du sprint, avec une valeur de puissance maximale atteinte en 3 à 4 s [1, 2, 14], soit une évolution comparable à celle de la vitesse en course à pied sur des sprints de durées similaires. Les trois grandeurs de force, de vitesse et de puissance étant primordiales lors d'efforts explosifs de sprint, une relation pourrait être attendue entre les valeurs obtenues lors de tests force-vitesse sur bicyclette ergométrique et la performance en sprint en course à pied. Ainsi, l'analogie entre l'évolution des paramètres mécaniques de force, vitesse et puissance lors de ces deux types d'efforts nous permet

de penser que les mêmes qualités musculaires sont mises en jeu lors d'un test de départ de sprint sur bicyclette ergométrique et lors d'un départ de 30 m en course à pied sur piste. Cette étude a pour but d'étudier les relations entre les variables mécaniques de force, vitesse et puissance mécanique externe mesurées lors de sprints sur cycloergomètre (tests de force-vitesse), et les performances chronométriques lors de sprints en course à pied avec départs en starting-blocks pour une population d'athlètes espoirs pratiquant le sprint en compétition.

2. MÉTHODES

2.1. Sujets

Sept athlètes espoirs masculins ont pris part à cette étude. Leurs âge, taille et masse étaient respectivement de (moyenne \pm écart-type) 22 ± 1 ans, $182,3 \pm 4,9$ cm et $78,8 \pm 2,1$ kg. Ils avaient un niveau interrégional dans les disciplines de sprint court, haies et saut en longueur. Après avoir été informés de la nature et des buts de l'étude, ils ont donné leur consentement par écrit.

2.2. Protocole expérimental

Les sujets ont été séparés de façon aléatoire (leurs masses, âges et tailles n'étaient pas significativement différents) en deux groupes afin de réaliser les tests sur bicyclette ergométrique et en course à pied sans effet d'ordre (i.e., un groupe commençait par la bicyclette, puis, après une heure, continuait par la course à pied, l'autre faisant l'inverse). Les deux tests ont été réalisés durant la même journée, en période de compétitions hivernales d'athlétisme en salle. Les athlètes ont confirmé ne pas être blessés le jour de l'expérimentation.

2.2.1. Test de force-vitesse sur bicyclette ergométrique

L'échauffement standardisé consistait à 1) régler individuellement les dimensions de la bicyclette (i.e., hauteur et recul de selle) [21], 2) pédaler 3 min à 60 rpm contre une charge faible (inférieure à 20 N) et 3) effectuer 3 sprints de 3 à 4 s contre des résistances faibles, entrecoupés de 3 min de récupération. Avant de commencer les tests, les sujets ont récupéré durant dix minutes, en pratiquant quelques étirements. Trois sprints de 6 s ont été réalisés dans un ordre aléatoire contre des forces de friction de 0,4, 0,6 et $0,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$. En effet, comme l'ont montré des études précédentes [1, 2, 14, 24, 25] ces charges de friction permettent aux sujets de développer des valeurs optimales de forces et de vitesses, ainsi que d'atteindre des puissances maximales sur bicyclette ergométrique. Cinq minutes de repos passif ont été imposées entre chaque sprint. Les pédales n'étaient pas munies de cale-pieds, la production mécanique de chaque jambe était ainsi indépendante

[1, 2]. Le sujet débutait le sprint en position assise sur la selle. Au signal donné par l'expérimentateur, il devait pédaler le plus vite possible durant 6 s, en gardant les fesses sur la selle, la pédale avant formant un angle de 45° avec la verticale vers l'avant. Cette jambe avant a été choisie par chaque sujet, et restait identique pour tous les sprints. Les sujets ont été vigoureusement encouragés au cours de leurs efforts.

2.2.2. Sprint en course à pied

L'échauffement a consisté en une course à allure lente ($10\text{--}12\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) de 6 min suivie d'accélération progressives sur 20 m, répétées trois fois. Les athlètes ont ensuite récupéré, au moins durant 5 min en pratiquant des étirements passifs, pendant que les consignes de l'exercice leur étaient données. Les sprints ont été effectués sur 30 m sur une piste « indoor » en Tartan®, avec un départ en starting-blocks. Cette distance de 30 m permettait d'atteindre une vitesse quasi maximale de course [11, 19], en environ 4 s [28]. Une récupération passive de 5 min séparait chaque sprint. Le départ du sprint a été pris de façon volontaire par chaque coureur sans signal sonore des expérimentateurs. Le temps total du sprint ne prenait donc pas en compte le temps de réaction au signal sonore.

2.3. Matériel et mesures

2.3.1. Test de force-vitesse sur bicyclette ergométrique

L'évaluation des qualités de force, vitesse et puissance mécanique externe développées par les sujets a été réalisée grâce à une bicyclette ergométrique non-isocinétique de type Monark 818 E (Stockholm, Suède) à courroie de friction et volant d'inertie d'une masse de 22,5 kg. La bicyclette était équipée d'un pédalier de 52 dents et d'une roue libre de 14 dents. Les manivelles mesuraient 0,170 m et le diamètre du volant d'inertie permet le déplacement linéaire de 6 m par tour de pédale. Une jauge de contrainte et un codeur incrémental ont été ajoutés sur cette bicyclette ergométrique modifiée [1, 2]. Cette jauge (Interface MFG type, Scottsdale, AZ, USA) permettait une mesure précise de la force de friction de la courroie (Fig. 1). L'étalonnage de la jauge a été réalisé préalablement à l'expérimentation en suspendant une masse étalonnée de 2 kg à la courroie de friction correspondant à une valeur de force de 19,62 N mesurée par la jauge. Le déplacement du volant était mesuré grâce à un codeur numérique à incrément (Hengstler RIS IP50, 100 pts.tour⁻¹, Aldingen, Allemagne) fixé sur une roulette de 64 mm de diamètre placée en contact avec la périphérie du volant. La précision du codeur était de 3300 points par tour de pédale. Les signaux de force et de déplacement ont été échantillonnés sur un PC à une fréquence de 50 Hz sur une période de 6 s.

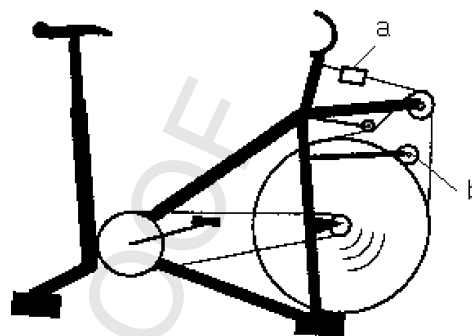


Figure 1. Vue de profil de la bicyclette ergométrique non-isocinétique munie d'une jauge de contrainte (a) et d'un codeur incrémental (b) (modifié d'après Arsac et al. [1]).

La vitesse (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et l'accélération (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) du volant étaient respectivement obtenues par simple puis double dérivation du signal de déplacement. La force d'inertie était calculée en multipliant l'accélération par l'inertie du volant, cette dernière ayant préalablement été déterminée par la méthode proposée par Lakomy [14]. La force totale (en $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$) était la somme de la force d'inertie et de la force de friction mesurée par la jauge de contrainte, rapportée à la masse des sujets. La puissance instantanée (en W) était le produit de la force totale par la vitesse du volant. Lors de chaque sprint, la force, la vitesse et la puissance étaient enfin moyennées par coup de pédale, un coup de pédale étant défini par une demi-rotation du pédalier au cours de laquelle l'extension complète du membre inférieur amène la pédale de la position verticale haute à son point mort bas. F_{max} , V_{max} et P_{max} correspondent respectivement aux forces, vitesses et puissances maximales moyennées par coup de pédale. La puissance maximale relative à la masse corporelle des sujets ($P_{\text{max}}\cdot\text{kg}^{-1}$) était exprimée en $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Les temps mis pour atteindre P_{max} et V_{max} (respectivement $t P_{\text{max}}$ et $t V_{\text{max}}$) étaient exprimés en secondes.

Les relations force-vitesse (Fig. 2) et puissance-vitesse (Fig. 3) ont été décrites respectivement par une régression linéaire et par une régression polynomiale du 2^{ème} degré, conformément à la méthode développée par Arsac [1, 2]. La puissance maximale (P_{max}) et la vitesse V_{opt} lui correspondant ont été obtenues par dérivation mathématique de cette régression polynomiale puissance-vitesse.

2.3.2. Sprint en course à pied

Lors de leurs sprint, les athlètes portaient des chaussures à pointes d'athlétisme. Les blocks arrière des starting-blocks étaient munis d'une bande de pression reliée au système de chronométrage, qui déclenchait le chronomètre lors de la pression du pied arrière dans son block. Le matériel de chronométrage était constitué de trois paires de cellules photo-électriques (Péquignet, France) reliées par liaison UHF/VHF à un chronomètre (Tag Heuer CP

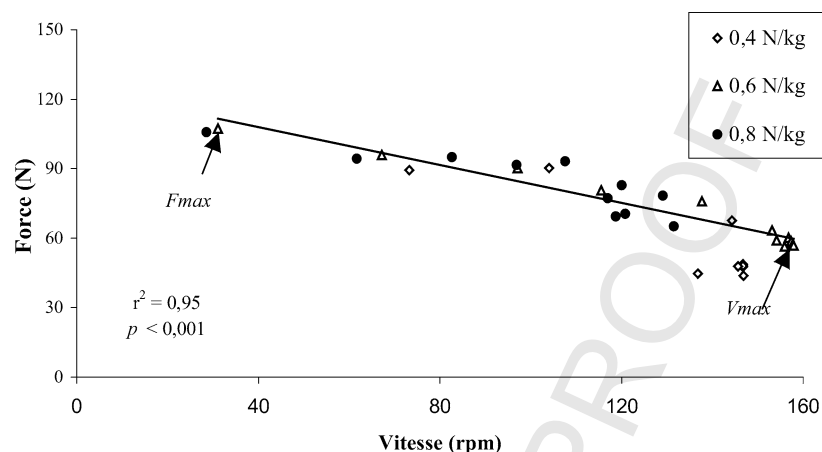


Figure 2. Relation typique entre les valeurs moyennes par coup de pédale de force (N) et de vitesse (rpm) au cours de trois sprints de 6 s contre des résistances de 0,4, 0,6 et 0,8 N.kg⁻¹ sur la bicyclette ergométrique.

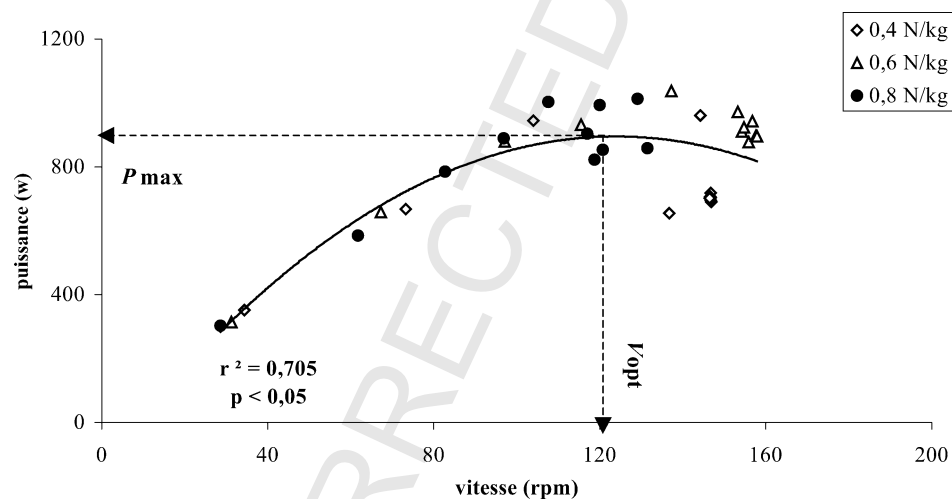


Figure 3. Relation typique entre la vitesse (rpm) et la puissance (W) au cours de trois sprints contre des résistances de 0,4, 0,6 et 0,8 N.kg⁻¹ sur la bicyclette ergométrique.

502, Suisse). Le chronomètre recevait les signaux de la bande de pression et des ruptures de faisceaux entre deux cellules disposées face à face, de chaque côté du couloir (distance de 1,22 m) à une hauteur fixe de 1,10 m soit environ la hauteur du centre de gravité des sujets. Les temps à 5, 10 et 30 m ont ainsi été déterminés avec une précision d'un millièmètre de seconde pour chaque sprint et pour chaque sujet.

Les variables retenues pour cette étude ont été les temps (en s) entre 0 et 5 m (t_5), entre 0 et 10 m (t_{10}), entre 0 et 30 m (t_{30}), ainsi que les temps dans les intervalles de distance (t_{5-10} , t_{10-30} et t_{5-30}). Les vitesses moyennes (en m.s⁻¹) ont été obtenues en divisant les distances par

les temps (ex : $V_{moy0-30} = 30/t_{30}$). Le sprint qui donnait lieu au meilleur temps sur 30 m a été retenu pour l'analyse des données.

2.4. Analyses statistiques

Le faible nombre de sujets composant la population étudiée ($n = 7$) ne permettait pas d'affirmer si cette population était normalement distribuée, notamment en ce qui concerne les variables anthropométriques, un test z de corrélation a alors été effectué pour confirmer la corrélation et le degré de significativité entre les variables concernées. Des régressions linéaires ont été réalisées

entre les variables mesurées sur cycloergomètre et en course à pied ainsi que les variables anthropométriques (méthode des moindres carrés). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

3. RÉSULTATS

3.1. Test de force-vitesse sur bicyclette ergométrique

Des relations force-vitesse linéaires significatives ont été obtenues avec un coefficient de détermination (r^2) compris entre 0,56 et 0,95 ($p < 0,01$). Les coefficients de détermination des relations polynomiales du 2^{ème} degré puissance-vitesse étaient aussi significatifs et compris entre 0,28 et 0,81 ($p < 0,05$).

Les valeurs moyennes et les écart-types de F_{\max} , V_{\max} , P_{\max} , V_{opt} , $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ sont présentées dans le Tableau I.

3.2. Sprint en course à pied

La Fig. 4 présente les performances moyennes des sujets lors du sprint sur 5, 10 et 30 m. Les vitesses moyennes $V_{\text{moy}0-5}$, $V_{\text{moy}0-10}$, $V_{\text{moy}0-30}$, $V_{\text{moy}5-10}$, et $V_{\text{moy}10-30}$ sont présentées dans le Tableau I.

3.3. Corrélations entre les tests de sprint

Aucune corrélation significative n'a été observée entre l'âge et les caractéristiques anthropométriques (taille,

masse, masse grasse) des sujets d'une part et leurs performances en sprint (bicyclette ergométrique ou course à pied) d'autre part.

Les corrélations entre les variables mesurées lors des sprints sur bicyclette ergométrique et en course à pied sont présentées dans le Tableau II. Le résultat principal de cette étude est la relation inverse significative entre la $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ et la vitesse moyenne à 10 m ($p < 0,01$), présentée dans la Fig. 5 et entre 5 et 10 m ($p < 0,01$), présentée dans la Fig. 6.

4. DISCUSSION

4.1. Force-vitesse sur bicyclette ergométrique

Le fait que des relations significatives linéaires entre la force et la vitesse ($p < 0,01$) et polynomiales du second degré entre la vitesse et la puissance ($p < 0,05$) puissent être établies dans cette étude, comme lors d'études précédentes [2, 12, 13] montre que ce modèle d'évaluation est reproductible et correspond bien aux caractéristiques mécaniques d'un effort musculaire de type explosif. Les valeurs de F_{\max} , V_{\max} , P_{\max} et $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ produites par les sujets sont conformes à celles rencontrées dans la lit-

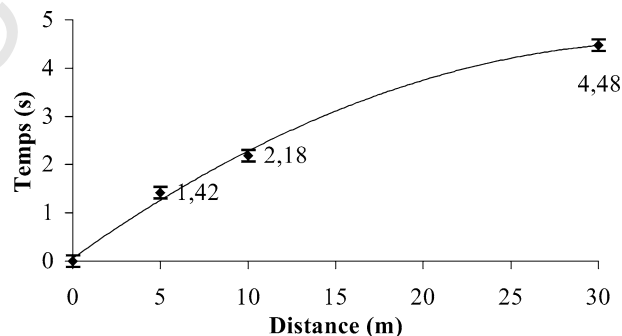


Figure 4. Temps moyens \pm écart-type (en s) à 5, 10 et 30 m lors d'un départ en sprint en course à pied.

Tableau I. Valeurs moyennes \pm écart-type des variables mesurées sur bicyclette ergométrique et lors de départs en starting-blocks

| Sprint sur bicyclette ergométrique | | Sprint en course à pied | |
|---|-----------------|--|-----------------|
| V_{\max} (rpm) | 165 \pm 19 | $V_{\text{moy}0-5}$ (m.s ⁻¹) | 3,53 \pm 0,07 |
| F_{\max} (N.kg ⁻¹) | 1,21 \pm 0,07 | $V_{\text{moy}0-10}$ (m.s ⁻¹) | 4,59 \pm 0,23 |
| P_{\max} (W) | 835 \pm 67 | $V_{\text{moy}0-30}$ (m.s ⁻¹) | 6,70 \pm 0,16 |
| $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ (W.kg ⁻¹) | 11 \pm 1 | $V_{\text{moy}5-10}$ (m.s ⁻¹) | 6,63 \pm 0,88 |
| V_{opt} (rpm) | 119 \pm 2 | $V_{\text{moy}10-30}$ (m.s ⁻¹) | 8,76 \pm 0,56 |

Tableau II. Coefficient de corrélation (z) entre les variables développées sur bicyclette ergométrique et les performances en sprint en course à pied

| | $V_{\text{moy}0-5}$ (m.s ⁻¹) | $V_{\text{moy}0-10}$ (m.s ⁻¹) | $V_{\text{moy}0-30}$ (m.s ⁻¹) | $V_{\text{moy}5-10}$ (m.s ⁻¹) | $V_{\text{moy}10-30}$ (m.s ⁻¹) |
|---|---|--|--|--|---|
| F_{\max} (N.kg ⁻¹) | -0,604 | 0,144 | 0,295 | 0,662 | -0,213 |
| V_{\max} (rpm) | 0,035 | 0,136 | 0,308 | 0,101 | 0,087 |
| V_{opt} (rpm) | 0,331 | 0,019 | -0,142 | -0,133 | -0,147 |
| P_{\max} (W) | -0,196 | 0,722 | 0,534 | 0,751 | -0,241 |
| $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ (W.kg ⁻¹) | -0,283 | 0,886* | 0,211 | 0,931* | -0,609 |

* $p < 0,01$.

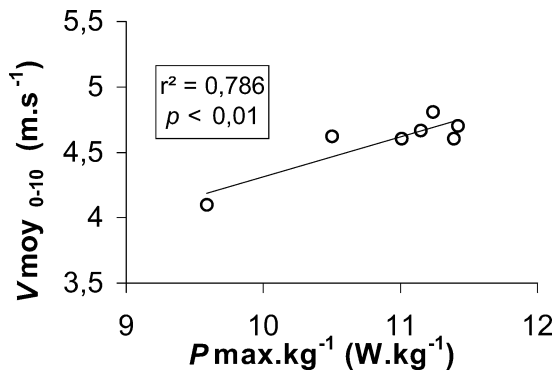


Figure 5. Relation entre la vitesse moyenne de course entre 0 et 10 m (m.s^{-1}) et la puissance maximale relative à la masse corporelle (W.kg^{-1}).

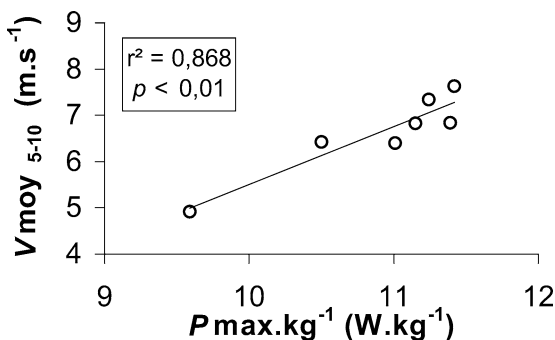


Figure 6. Relation entre la vitesse moyenne de course entre 5 et 10 m (m.s^{-1}) et la puissance maximale relative à la masse corporelle (W.kg^{-1}).

térature lors de tests de force-vitesse sur bicyclette non-isocinétique contre des résistances similaires [1, 2, 12–14]. Les valeurs de P_{\max} et de V_{opt} obtenues dans cette étude sont comparables à celles rencontrées lors d'études utilisant des protocoles de mesure et des méthodes de calcul comparables [1, 2, 12, 13]. Des valeurs P_{\max} et de V_{opt} obtenues dans cette étude légèrement supérieures à celles de certaines des études citées [2, 13] peuvent s'expliquer par le fait que ces études ont effectué des mesures sur des sujets peu entraînés ou non spécialistes de sprint.

4.2. Course de sprint sur 30 m

Les temps à 5, 10 et 30 m obtenus en sprint en course à pied sont comparables d'une part aux références chronométriques des sujets, et d'autre part aux études portant sur des sujets spécialistes [4, 5]. L'étude de Baker et Bell [4] mentionne des temps inférieurs sur 30 m ($3,3 \pm 0,3$ s contre $4,48 \pm 0,10$ s pour cette étude) qui pourraient être expliqués par un chronométrage réalisé manuellement sur des sprinters d'élite, par conséquent d'un niveau supérieur à ceux de cette étude.

Il est nécessaire lors de ces comparaisons de temps, de tenir compte de l'absence de signal sonore de départ et donc de l'influence du temps de réaction. Ce signal et le temps de couplage neuro-musculaire qu'il impose (entre 110 à 200 ms [18, 19]) diminuent le niveau de performance chronométrique finale. Dans cette étude, nous n'avons pas pris le temps de réaction en compte pour deux raisons. Premièrement, notre étude s'intéressait aux corrélations entre les performances lors de sprints sur bicyclette ergométrique et en course à pied. Comme le départ est volontaire sur bicyclette ergométrique, il devait également l'être lors des départs en starting-blocks. Deuxièmement, le facteur temps de réaction ne correspond pas aux variables mécaniques et cinétiques étudiées ici, et des études ont montré son absence de relation significative avec la performance en sprint en course à pied [11, 18, 19].

4.3. Relations entre les sprints sur bicyclette et en course à pied

La durée de la première phase comprise entre 0 et 5 m n'était pas significativement liée à la force maximale exercée lors du pédalage sur bicyclette. Lors de cette phase initiale, les sprinters produisent des forces importantes sur les blocks puis sur le sol. Des forces horizontales de plus de 1200 N ont été mesurées lors d'un départ en sprint en course à pied [19], et des pics de forces appliqués sur les pédales de 830 à 1300 N lors de sprints sur bicyclettes [12, 22]. On pouvait donc s'attendre à trouver une corrélation entre F_{\max} développée sur bicyclette ergométrique et le temps à 5 m. Or ce n'est pas le cas dans cette étude. La méthode de mesure de F_{\max} sur bicyclette ergométrique pourrait expliquer en partie cette absence de corrélation. En effet, la mesure de la force n'a été effectuée qu'à partir du deuxième coup de pédale, le premier coup de pédale n'étant pas complet et la position de départ n'étant pas rigoureusement la même pour tous les sujets. Or dès le deuxième coup de pédale la vitesse gestuelle est élevée et la force « maximale » alors mesurée ne correspond plus à la force maximale isométrique.

Le principal résultat de cette étude est la relation significative obtenue entre la vitesse de course à 10 m et entre 5 et 10 m et la puissance maximale $P_{\max}.\text{kg}^{-1}$ ($p < 0,01$) produite sur cycloergomètre. Il semble donc que la production de puissance maximale par les membres inférieurs influence grandement la performance lors de cette phase de sprint. La relation force-vitesse sur muscle isolé et sur bicyclette (et lors de tout exercice maximal) entraîne une production de puissance pour des vitesses et des forces intermédiaires (optimales) [24, 26, 27]. C'est précisément le cas lors de la phase de course comprise entre 5 et 10 m durant laquelle la force produite est inférieure à la force maximale, et la vitesse n'a pas encore atteint sa valeur maximale [18, 19]. L'accélération du corps par les muscles des membres inférieurs des

athlètes demande en effet de la force mais également une vitesse gestuelle importante. Ces deux qualités sont réunies dans l'expression de la puissance mécanique. On peut donc rapprocher la puissance mécanique développée sur bicyclette ergométrique de l'explosivité des membres inférieurs dans le sprint en course à pied, surtout lors de la phase d'accélération comprise entre 5 et 10 m.

Le début (0 à 5 m) et la fin (10 à 30 m) de la mise en action en sprint n'étaient pas significativement liés aux variables mécaniques mesurées lors de tests sur bicyclette ergométrique.

La vitesse maximale obtenue sur bicyclette ergométrique ne montrait pas de relation significative avec la durée entre 10 et 30 m (partie finale de la mise en action étudiée dans cette étude), ni avec la vitesse moyenne de course dans cet intervalle, malgré des fréquences gestuelles comparables de 3 à 5 Hz en course à pied [19] et de 3 Hz lors du pédalage à 180 rpm par exemple. Ceci peut s'expliquer d'une part par le fait que les athlètes spécialistes de sprint atteignent leur vitesse maximale en général entre 30 et 50 m [11, 19, 23]. La distance de sprint de 30 m effectuée par les sujets dans cette étude ne leur permettait donc probablement pas d'atteindre leur vitesse maximale de course. D'autre part, il faut noter que l'activité de pédalage des membres inférieurs sur bicyclette ergométrique est un travail essentiellement concentrique, contrairement à la course à pied au cours de laquelle un cycle étirement-détente, composé d'une succession rapide de travail excentrique et concentrique fait intervenir les propriétés élastiques des structures musculo-tendineuses. Or le cycle étirement-détente représente un facteur essentiel de performance globale dans cette activité, notamment lorsque la vitesse est élevée. Ce cycle étirement-détente représente donc une différence de qualités musculaires intervenant entre les deux types d'efforts supramaximaux étudiés [3, 6-9, 17, 23, 27].

La corrélation ou la tendance significative liant respectivement $P_{\max} \cdot \text{kg}^{-1}$ avec $V_{\text{moy}5-10}$ semble en désaccord avec les résultats de Baker et Bell [4]. Cette étude réalisée chez des sprinters de niveau international montre de faibles corrélations ($r = 0,51$; $p > 0,05$) entre les performances sur 30 m départ debout et les puissances maximale et moyenne développées sur bicyclette ergométrique lors de sprints de 30 s. Cette étude calculait les puissances maximales sur des périodes de test de 30 s et non sur des courtes périodes, comme dans la présente étude. Or, un sprint d'une durée de 30 s fait intervenir d'autres qualités musculaires que l'explosivité. De plus, l'inertie du volant n'était pas prise en compte lors des sprints sur bicyclette, contrairement à la présente étude. Or il a été montré que cette prise en compte pouvait donner lieu à la mesure de valeurs de puissance supérieures de 30 à 100 % pour des charges et des vitesses comparables [2, 14].

Aucun des paramètres mécaniques étudiés (force, vitesse et puissance) n'est lié de façon significative avec

la vitesse moyenne de course à 30 m et ne peut donc à lui seul expliquer dans ce groupe de compétiteurs la performance en sprint. On peut donc se poser la question d'une combinaison de ces paramètres, qui pourrait amener à comprendre les facteurs mécaniques en relation avec la performance en sprint.

5. CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que dans une population de sujets spécialistes de disciplines de sprint une relation significative ($p < 0,01$) entre la puissance maximale relative à la masse corporelle développée lors de tests de force-vitesse sur bicyclette ergométrique et la vitesse moyenne à 10 m et entre 5 et 10 m lors de départs avec starting-blocks en sprint en course à pied. Il existe donc un lien entre ces deux efforts supra-maximaux qui mesurent l'explosivité des membres inférieurs. Cette dernière variable semble donc être une variable de la performance dans cette zone du sprint. Cependant, les autres parties de la mise en action en sprint (0 à 5 m et 10 à 30 m) ne sont pas corrélées de façon significative avec les variables mécaniques de force, de vitesse et de puissance développées par les membres inférieurs lors de sprints sur bicyclette ergométrique. Cela peut être expliqué par la différence de qualités musculaires mises en jeu, notamment l'utilisation de l'élasticité musculo-tendineuse et du cycle étirement-détente en sprint en course à pied.

Il est à noter enfin que compte tenu du faible nombre de sujets étudiés et de l'homogénéité de ce groupe au plan anthropométrique et des performances, les résultats générés lors de cette étude ne sont applicables que pour cette population et nécessitent d'être complétés par l'étude de populations plus hétérogènes au vu des critères cités.

RÉFÉRENCES

- 1 Arsac LM, Belli A, Lacour JR. Muscle function during brief maximal exercise: accurate measurements on a friction-loaded cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol* 1996; 74: 100-6.
- 2 Arsac LM. Mécanique musculaire et contrôle neuromusculaire de la production de puissance au cours de l'exercice explosif chez l'homme. Thèse de doctorat, Université Jean Monnet. St-Etienne, 1995.
- 3 Aura O, Komi PV. Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med* 1986; 7: 137-43.
- 4 Baker JS, Bell W. Anaerobic performance and sprinting ability in elite male and female sprinters. *Journal of Human Movement Studies* 1994; 27: 235-42.
- 5 Baumann W. Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start. In: *Biomechanics* VB. Baltimore: University Park Press; 1973, p. 194-9.

- 6 Belli A. Measurement of mechanical factors of running efficiency. *Med Sport Sci* 1996; 41 : 57-70.
- 7 Bosco C, Montanari G, Ribacchi R, Giovaneli P, Latteri F, Iacchelli G, Faina M, Colli R, Dal Monte A, La Rosa M, Cortili G, Saibene F. Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *Eur J Appl Physiol* 1987; 56 : 138-43.
- 8 Bosco C, Tarkka I, Komi PV. Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med* 1982; 3 : 137-40.
- 9 Cavagna GA, Saibene FP, Margaria R. Mechanical work in running. *J Appl Physiol* 1964; 19 : 249-56.
- 10 Cavagna GA, Komarek L, Mazzoleni S. The mechanics of sprint running. *J Physiol* 1971; 217 : 709-21.
- 11 Delecluse C, Van Coppenolle H, Willems E, Diels R, Goris M, Van Leemputte M, Vuylsteke M. Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill. *Journal of Human Movement Studies* 1995; 28 : 87-101.
- 12 Hautier CA, Linossier MT, Belli A, Lacour JR, Arzac LM. Optimal velocity for maximal power production in non-isokinetic cycling is related to muscle fiber type composition. *Eur J Appl Physiol* 1996; 74 : 114-8.
- 13 Hintzy F, Belli A, Grappe F, Rouillon JD. Effet de l'utilisation de pédales automatiques sur les caractéristiques mécaniques mesurées lors de sprints sur cycloergomètre non-isocinétique. *Science et Sports* 1999; 14 : 137-44.
- 14 Lakomy HKA. Measurement of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. *Ergonomics* 1986; 29 : 509-17.
- 15 Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geysant A, Lacour JR. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67 : 408-14.
- 16 Linossier MT, Dormois D, Geysant A, Denis C. Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol* 1997; 75 : 491-8.
- 17 McMahon TA, Cheng GC. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech* 1990; 23 : 65-78.
- 18 Mero A. Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sports* 1988; 59 : 94-8.
- 19 Mero A, Komi PV, Gregor RJ. Biomechanics of sprint running. *Sports Med* 1992; 13 : 376-92.
- 20 Nadeau M, Cuerrier JP, Brassard A. The bicycle ergometer for muscle power testing. *Can J Appl Spt Sci* 1983; 8 : 41-6.
- 21 Nordeen-Snyder KS. The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Med Sci Sports* 1977; 2 : 113-7.
- 22 Sargeant AJ, Hoinville E, Young A. Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *J Appl Physiol Resp Environ Exerc Physiol* 1981; 51 : 1175-82.
- 23 Van Ingen Schenau GJ, De Koning JJ, De Groot G. Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med* 1994; 17 : 259-75.
- 24 Vandewalle H, Pérès G, Heller J, Monod H. Intérêts et limites des relations force-vitesse chez l'homme. *Science et Motricité* 1988; 4 : 38-46.
- 25 Vandewalle H, Pérès G, Heller J, Monod H. All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol* 1985; 54 : 222-9.
- 26 Vandewalle H, Pérès G, Heller J, Panel J, Monod H. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol* 1987; 56 : 650-6.
- 27 Vandewalle H, Pérès G, Monod H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med* 1987; 4 : 268-89.
- 28 Volkov NI, Lapin VI. Analysis of the velocity curve in sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 1979; 11 : 332-7.