

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

VALIDATION D'UN PROTOCOLE SUR TAPIS ROULANT POUR DÉTERMINER
LA PC ET LE W' AVEC L'UTILISATION D'UN CAPTEUR DE PUISSANCE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR

OLIVIER GÉLINAS

SEPTEMBRE 2026

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSQUE (3407)

Direction de recherche

Claude Lajoie, Ph D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom	Directeur de recherche

François Trudeau, Ph D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom	Co-directeur de recherche

Jury d'évaluation

François Trudeau, Ph D.	Co-directeur de recherche, UQTR
Prénom et nom	Fonction membre du jury

Jean Lemoyne, Ph D.	Évaluateur interne, UQTR
Prénom et nom	Fonction membre du jury

Martin Lavallière, Ph D.	Évaluateur externe, UQAC
Prénom et nom	Fonction membre du jury

RÉSUMÉ

Introduction : Pour optimiser l'entraînement et la performance en course à pied, il est essentiel de comprendre les caractéristiques physiologiques propres à chaque coureur. La puissance critique (PC) et le réservoir d'énergie supra-puissance critique (W') constituent deux paramètres centraux pour établir le profil d'un athlète. Dans les dernières années, ces concepts ont gagné en importance dans la communauté scientifique et dans le milieu de l'entraînement, puisqu'ils offrent une compréhension plus fine des déterminants de la performance et une base solide pour prescrire la charge d'exercice.

La course à pied, longtemps passée d'un comportement de survie à une discipline sportive moderne, a évolué sous l'influence de nombreuses innovations, allant des montres GPS aux nouvelles technologies de chaussures, en passant par l'alimentation sportive et les approches d'entraînement. Dans ce contexte d'évolution rapide, les méthodes traditionnelles de prescription d'entraînement, fondées sur la vitesse maximale aérobie (VMA), les seuils lactiques ou les performances en compétition, montrent certaines limites lorsqu'il s'agit de représenter précisément la variabilité physiologique individuelle. La PC et le W' s'imposent de plus en plus comme des indicateurs complémentaires permettant une analyse plus nuancée des capacités du coureur.

Malgré leur utilité reconnue, les protocoles utilisés pour déterminer la PC et le W' reposent sur une répétition de plusieurs tests distincts, ce qui complique leur intégration dans une planification d'entraînement.

Dans ce contexte, cette étude propose l'élaboration et la validation d'un nouveau protocole de test sur tapis roulant permettant de mesurer, en une seule série d'efforts, la PC et le W' chez des coureurs compétitifs. L'objectif est d'offrir un outil plus simple, reproductible et mieux adapté aux besoins actuels du milieu de la performance et de la recherche.

Objectif : (1) Cette étude a pour but de développer et valider un nouveau protocole capable d'estimer, en un seul test, la PC et le W' chez des coureurs expérimentés, en comparant les résultats obtenus avec ceux issus de tests standards (3 min et 12 min) reconnus dans la littérature. Ce protocole vise à utiliser des outils de mesure accessibles tels qu'un capteur Stryd et une ceinture cardiofréquencemètre.

Méthodologie : Douze participants (âge $23,08 \pm 1,73$ ans, poids corporel $68,58 \pm 6,84$ kg, taille $179,75 \pm 9,41$ cm, IMC $21,22 \pm 1,27$ kg/m², record sur 5 km $16,94 \pm 1,42$ min) ont complété trois tests d'effort, séparés d'au moins 48 h et d'au plus 7 jours : un nouveau protocole permettant d'estimer simultanément la puissance critique (PC) et le W', suivi des deux tests de référence habituellement utilisés (meilleur 3 min et meilleur 12 min).

Résultats : Les résultats montrent que la puissance critique (PC) estimée par le nouveau protocole présente une très forte corrélation avec les méthodes de référence, bien qu'elle soit systématiquement surestimée, avec une variabilité interindividuelle modérée à élevée. À l'inverse, l'estimation du W' par le nouveau protocole est marquée par une sous-estimation systématique, une forte variabilité entre les individus et une corrélation faible et non significative avec les méthodes de référence. Ces résultats suggèrent que le nouveau protocole est plus robuste pour l'estimation de la PC que pour celle du W'.

Conclusion : Cette étude démontre que le nouveau protocole proposé permet d'estimer la puissance critique de manière fiable, avec une forte concordance avec les méthodes de référence, bien qu'une surestimation systématique soit observée. En revanche, l'estimation du W' présente un accord limité, caractérisé par une sous-estimation et une importante variabilité interindividuelle. Ces résultats suggèrent que ce protocole constitue une alternative prometteuse pour l'évaluation simplifiée de la PC chez des coureurs expérimentés, tandis que des ajustements méthodologiques supplémentaires sont nécessaires afin d'améliorer la validité de l'estimation du W' .

Mots clés : Performance d'endurance, seuils lactiques Stryd.

ABSTRACT

Introduction:

To optimize training and performance in running, it is essential to understand the physiological characteristics specific to each runner. Critical power (CP) and W' (the work capacity above critical power) are two key parameters used to establish an athlete's physiological profile. In recent years, these concepts have gained increasing attention within both the scientific community and the training field, as they provide a more refined understanding of the determinants of performance and a solid basis for prescribing exercise intensity.

Running, which has evolved from survival behavior into a modern sporting discipline, has been shaped by numerous innovations, ranging from GPS watches and advanced footwear technologies to developments in sports nutrition and training approaches. In this context of rapid evolution, traditional methods of training prescription—based on maximal aerobic speed (MAS), lactate thresholds, or competition performances—show certain limitations when it comes to accurately representing individual physiological variability. Critical power (CP) and W' are increasingly recognized as complementary indicators that allow for a more nuanced analysis of a runner's capacities.

Despite their recognized usefulness, the protocols used to determine CP and W' typically rely on the repetition of several separate tests, which complicates their integration into a training schedule.

In this context, the present study proposes the development and validation of a new treadmill testing protocol designed to measure, within a single series of efforts, both CP and W' in competitive runners. The objective is to provide a tool that is simpler, reproducible, and better suited to the current needs of both performance environments and scientific research.

Objective:

(1) The aim of this study is to develop and validate a new protocol designed to estimate, in a single test, critical power (CP) and W' in experienced runners by comparing the results obtained with those derived from standard tests (3-min and 12-min) recognized in

the literature. This protocol is intended to rely on accessible measurement tools such as a Stryd power meter and a heart rate monitor.

Methodology:

Twelve participants (age 23.08 ± 1.73 years, body mass 68.58 ± 6.84 kg, height 179.75 ± 9.41 cm, BMI 21.22 ± 1.27 kg·m⁻², 5-km personal best 16.94 ± 1.42 min) completed three tests separated by at least 48 h and no more than 7 days: a new protocol designed to simultaneously estimate critical power (CP) and W', followed by the two gold standard tests commonly used in the literature (best 3-min and best 12-min efforts).

Results:

The results show that critical power (CP) estimated by the new protocol demonstrates a very strong correlation with the reference methods, although it is systematically overestimated, with moderate to high interindividual variability. In contrast, the estimation of W' using the new protocol is characterized by a systematic underestimation, high interindividual variability, and a weak, non-significant correlation with the reference methods. These findings suggest that the new protocol is more robust for estimating CP than for estimating W'.

Conclusion:

This study suggests that the proposed protocol allows for a reliable estimation of critical power (CP), showing strong agreement with the reference methods, although a systematic overestimation was observed. In contrast, the estimation of W' shows limited agreement, characterized by an underestimation and substantial interindividual variability. These

results suggest that this protocol represents a promising alternative for the simplified assessment of CP in experienced runners, while further methodological adjustments are needed to improve the validity of W' estimation.

Keywords: Running, Power, Critical power, Stryd, W' .

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iv
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
TABLE DES FIGURES	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xii
INTRODUCTION	1
CADRE THÉORIQUE	4
La vitesse maximale aérobie (VMA)	4
Les seuils lactiques	5
Le capteur de puissance <i>Stryd</i>	7
La puissance critique (PC)	11
Le réservoir énergétique supra-puissance critique (W')	15
PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE	18
OBJECTIF DE RECHERCHE	19
PAPIER SCIENTIFIQUE CIBLÉ	20
ARTICLE SCIENTIFIQUE	21
DISCUSSION	61
Limites	64
Recommandations pratiques	65
CONCLUSION	68
Références	70
ANNEXE A	i

ANNEXE B	iii
ANNEXE C	vi
ANNEXE D	vii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Demographic and anthropometric characteristics of the participants	26
Tableau 2: Individual and mean data at the final stage of phase #1 of the SRT-CP	39
Tableau 3: Individual and mean data at the final stage of phase #2 of the SRT-CP	40
Tableau 4: Individual and mean data at the phase #3 of the SRT-CP	40
Tableau 5: Individual and mean data from Test #2 (3-min MMP)	41
Tableau 6: Individual and mean data from Test #3 (12-min MMP)	41
Tableau 7: Comparison between Monod and Morton equations	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Le capteur de puissance Stryd	9
Figure 2: Illustration de la PC et du W'	13
Figure 3: The Single Running Test – CP (SRT-CP)	28
Figure 4. Bland–Altman plot showing the agreement between two methods for the determination of critical power (CP)	32
Figure 5. Bland–Altman plot showing the agreement between two methods for the determination of W'	33
Figure 6: Individual and mean power curves - The Single Running Test – CP	37
Figure 7: Individual and mean power curves of the 3-min and 12-min MMP tests	38
Figure 8: Mean power curve from SRT-CP and the 3-min and 12-min MMP	39
Figure 9: Correlation between the duration of phase #3 of the SRT-CP when extrapolated to 105% of CP and the W'	44
Figure 10: Correlation between the best 5k and the CP of the SRT-CP	45
Figure 11: Correlation between W' from the SRT-CP and Stage 3 duration of the same test	46
Figure 12: Correlation between relative power (W/kg) from the 3-min MMP and the 12- min MMP test	48

Figure 13: Correlation between absolute maximal power (W) from the SRT-CP and absolute power (W) in the 3-min MMP test	49
Figure 14: Correlation between absolute maximal power (W) from SRT-CP and absolute power (W) in the 12-min MMP test	50
Figure 15: Correlation between CP Morton obtained from the test #1 and the CP Monod & Scherrer obtained from the test #2 and #3	51

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Signification	Unité de mesure
ATP	Adénosine triphosphate	
CV	Coefficient de variation	
GPS	« <i>Global positioning system</i> » Géo-localisation par satellite	
HR	« <i>Heart rate</i> » Fréquence cardiaque	
ICC	« <i>Intraclass correlation</i> » Corrélation intra-classe	
p	Probabilité critique	
P	Puissance	W
PC	Puissance critique	W
P _{max}	Puissance maximale	W
PO	« <i>Power output</i> » Puissance déployée	W
r	Coefficient de corrélation de Pearson	
SD	Standard deviation	
SEM	« <i>Standard error of the mean</i> » Erreur type	
SL1	Seuil aérobie lactique	mmol·L ⁻¹
SL2	Seuil anaérobie lactique	mmol·L ⁻¹
Tlim	Temps limite d'épuisement à l'effort	sec
UMI	Unité de mesure inertielle	

$\dot{V}O_{2\max}$	Consommation maximale d'oxygène	$(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1})$
VMA	Vitesse maximale aérobie	$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
W	Le travail	Joules
W'	Réserve énergétique supra-puissance critique	Joules
τ	Constante de temps indéfini	

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Chacune d'entre elles a joué un rôle déterminant dans l'avancement et l'aboutissement de ce projet qui m'a accompagné tout au long de mes études de maîtrise.

Je remercie tout d'abord mon directeur de recherche, Claude Lajoie, pour son accompagnement bienveillant, ses conseils éclairés et sa disponibilité constante. Sa passion pour la physiologie de l'exercice et son expertise dans le domaine du sport d'endurance ont nourri ma réflexion et m'ont permis de développer un projet dont je suis réellement fier. Son soutien méthodologique et sa vision scientifique ont été des piliers tout au long de cette aventure.

Merci également à mon codirecteur, François Trudeau, qui a généreusement accepté d'intégrer ce projet à la toute fin de son long parcours professionnel. Sa rigueur, ses commentaires précis et son regard expérimenté ont enrichi ce mémoire et ont contribué à lui donner une direction plus solide.

Un merci sincère au laboratoire LTIPS de l'UQTR ainsi qu'au laboratoire de physiologie de l'exercice de l'UQAC. Merci de m'avoir donné accès à vos installations, à vos instruments et à vos tapis roulants, ainsi que pour votre accueil chaleureux lors de mes passages en laboratoire. Ces ressources ont été essentielles à la mise en œuvre du protocole expérimental de cette étude.

Un remerciement tout particulier s'adresse à Julien Glaude-Roy pour son aide précieuse dans l'analyse statistique des données. Sa disponibilité, sa rigueur et la clarté de ses explications ont grandement facilité l'interprétation des résultats.

Je souhaite également remercier chaleureusement les participants et participantes à l'étude. Leur engagement, leur disponibilité et leur motivation à compléter des tests exigeants ont été indispensables à la collecte de données. Leur contribution est au cœur même de ce projet.

Enfin, je tiens à remercier ma famille, dont l'appui inconditionnel, la patience et les encouragements ont été présents à chaque étape de ce parcours académique. Leur confiance et leur présence m'ont permis de persévérer dans les moments plus exigeants.

INTRODUCTION

La course à pied a toujours occupé une place centrale dans la vie humaine, bien que ses fonctions et ses significations aient considérablement évolué au fil du temps. Initialement utilisée comme moyen de survie lors de la préhistoire, notamment pour la chasse et la fuite, il y a près de deux millions d'années, la course à pied s'est progressivement transformée en une activité physique structurée, puis en une discipline sportive à part entière, pratiquée aujourd'hui de manière récréative ou compétitive à l'échelle mondiale (Bramble et al., 2004). Cette évolution s'inscrit dans un contexte plus large de professionnalisation et d'avancée scientifique du sport, où la performance est désormais analysée, mesurée et optimisée à l'aide de multiples outils technologiques et méthodologiques.

La pratique compétitive de la course à pied a connu d'importantes transformations au cours des dernières décennies. L'apparition des montres GPS, le développement de chaussures intégrant des plaques de carbone, l'évolution des stratégies nutritionnelles (gels énergétiques, boissons d'effort, supplémentation en caféine, etc.) ainsi que l'émergence de nouvelles approches d'entraînement ont profondément modifié la manière dont les athlètes s'entraînent et performant. Ces avancées ont permis une quantification plus précise de l'entraînement et une individualisation accrue des charges de travail. Ainsi, la course à pied contemporaine diffère radicalement de celle pratiquée il y a cinquante ans, et il est raisonnable de penser qu'elle continuera d'évoluer au rythme des progrès scientifiques et technologiques au cours des prochaines décennies.

À ce jour, la prescription de l'entraînement en course à pied repose majoritairement sur des allures de vitesse prédéfinies. Ces allures sont généralement établies à partir de la vitesse maximale aérobie (VMA), des seuils lactiques ou encore des performances réalisées lors d'épreuves compétitives (Schnitzler, 2008). Bien que ces méthodes soient largement répandues et validées scientifiquement, elles présentent certaines limites lorsqu'on ne considère pas la puissance de travail en course à pied. En effet, elles ne tiennent pas toujours compte de la variabilité physiologique interindividuelle, peuvent manquer de standardisation selon les protocoles utilisés et demeurent sensibles aux conditions environnementales telles que le vent, la pente ou la température (Imbach et al., 2020). De plus, ces approches basées sur la vitesse peinent parfois à représenter fidèlement les transitions métaboliques réelles entre les différentes intensités d'effort, ce qui peut nuire à l'optimisation précise de la charge d'entraînement.

Dans ce contexte, l'émergence récente des capteurs de puissance en course à pied a contribué à transformer le paradigme de l'entraînement (Cerezuela-Espejo et al., 2021; Garcia-Pinillos et al., 2019; Imbach et al., 2020; Toboga et al., 2022). Contrairement à la vitesse, la puissance constitue une mesure de charge externe plus stable et moins influencée par les conditions extérieures. Ces dispositifs permettent non seulement une quantification plus fine de l'intensité de l'effort, mais également la modélisation de paramètres physiologiques clés tels que la puissance critique (PC) et le réservoir d'énergie supra-puissance critique (W' , de l'anglais *W prime*). Initialement développés et largement utilisés en cyclisme, ces concepts ont progressivement été transposés à la course à pied et

sont aujourd'hui reconnus comme des indicateurs pertinents pour caractériser la tolérance à l'effort intense et la capacité de performance des coureurs (Allen et al., 2019).

Cependant, malgré leur intérêt théorique et pratique, les protocoles classiquement utilisés pour déterminer la PC et le W' reposent sur la réalisation de plusieurs tests distincts, souvent répartis sur différentes journées. Cette approche implique la répétition d'efforts maximaux, ce qui peut entraîner une fatigue résiduelle, augmenter la variabilité des résultats et compliquer leur intégration dans une planification régulière d'entraînement. Ces contraintes logistiques et physiologiques représentent un frein important à l'utilisation systématique de ces paramètres, tant dans le milieu de la recherche que dans celui de la performance sportive. Ainsi, le développement et la validation de protocoles alternatifs, plus simples, plus rapides et plus accessibles, apparaissent nécessaires afin de faciliter l'adoption de la PC et du W' comme outils opérationnels dans la prescription et le suivi de l'entraînement en course à pied tant chez les coureurs récréatifs souhaitant avoir un encadrement que chez les athlètes de haut niveau.

CADRE THÉORIQUE

Vitesse maximale aérobie (VMA)

La VMA est un concept apparu dans les années 1970-1980, notamment à la suite des travaux de Di Prampero, tels que rapportés par Lacour et Candau (1990). Il s'agit de la plus basse vitesse à laquelle un coureur atteint sa consommation maximale d'oxygène ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$), soit sa $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ (Lacour et Candau 1990). La VMA permet d'établir un lien direct entre l'évaluation de la performance et les allures de vitesse pour l'entraînement (Berthoin et al., 2001). En effet, la VMA est fortement corrélée avec les performances allant du 1500m jusqu'au 5000m (Mercier et al., 1986). Il est possible, selon le niveau de l'individu, de courir entre 4 et 8 minutes à sa VMA avant l'épuisement. À cette intensité, environ 85% de l'énergie provient du métabolisme aérobie alors que seulement 15% provient du métabolisme anaérobie (Lacour et Candau 1990).

Il existe des centaines de sites internet différents permettant d'établir des zones d'entraînement avec des pourcentages de la VMA plus ou moins semblables, en fonction de la VMA d'un participant. L'idée de mettre une fourchette de pourcentages permet certainement d'inclure un plus grand nombre d'individus, sans toutefois optimiser les zones de chacun. Cette utilisation de pourcentages fixes de la VMA pour déterminer les zones d'entraînement présente donc certaines limites, puisque la même fraction de VMA peut représenter une intensité physiologique différente d'un individu à l'autre (Lacour et Candau 1990). De plus, des facteurs externes, tels que le dénivelé et le vent, peuvent

modifier la demande physiologique sans nécessairement modifier la vitesse prescrite. S'entraîner de 0,5 à 2 km/h trop vite peut certainement faire la différence entre la progression d'un athlète, la surcharge non fonctionnelle et les blessures.

Les seuils lactiques

Comme spécifié plus haut, une deuxième façon utilisée pour déterminer les zones d'entraînement est de se baser sur les seuils lactiques. Il s'agit d'un concept apparu dans les années 1970-1980, notamment grâce aux travaux de Kindermann et al. (1979). Par définition, un seuil représente une limite au-delà de laquelle les conditions physiologiques du sportif sont changées (Le Cornec, 2011). La lactatémie, soit la mesure du taux de lactate dans le sang en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, est l'une des mesures utilisées pour déterminer ces seuils lactiques (Le Cornec, 2011) et d'établir les zones d'entraînement. Les prises de lactate sont de plus en plus utilisées sur le terrain par les entraîneurs et les athlètes car elles permettent d'assurer un entraînement aux bonnes allures avec une confirmation physiologique plutôt que de se référer uniquement aux sensations et/ou à la perception d'effort (Seiler, 2010). Il existe 2 seuils lactiques permettant de différencier les domaines d'intensité. Le seuil aérobie lactique (SL1) est considéré comme le premier seuil et le seuil anaérobie lactique (SL2) est considéré comme le deuxième seuil (Billat, 2001).

Le SL1 représente la frontière entre une activité à « basse intensité » et une activité à « moyenne intensité ». Ce seuil est souvent associé à un taux de lactatémie situé à 2 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ chez les athlètes. Par contre, cette valeur reste arbitraire puisque les individus

ne sont pas tous identiques. À cette intensité, la lactatémie sort d'un état stable et augmente progressivement. Si l'intensité à laquelle on court augmente, une plus grande proportion de glucides est utilisée alors que l'utilisation relative (en pourcentage) des lipides diminue. Lorsqu'un individu court à une vitesse associée à son premier seuil, l'énergie provient autant des glucides que des lipides selon la précision de l'allure de course. Il s'agit du point de croisement « *crossover point* » entre ces deux sources d'énergie (Brooks, 1994).

Le SL2, représente une délimitation entre une intensité moyenne et élevée. Selon le niveau de l'individu, la vitesse associée à ce seuil peut être maintenue de 40 à 60 minutes. À cette intensité d'exercice, le métabolisme aérobie est probablement maximisé pour couvrir les besoins en ATP nécessaires à l'activité musculaire. La valeur de lactatémie couramment utilisée à cette intensité est de $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Par contre, comme expliqué pour le premier seuil, il est important de comprendre qu'il s'agit d'une valeur arbitraire et qu'il est plutôt suggéré d'utiliser des méthodes d'individualisation des seuils pour connaître la valeur propre à chacun (Baldari et Guidetti, 2000). Lorsque ce seuil est dépassé, la lactatémie augmente de manière exponentielle. Le corps commence donc à produire du lactate en plus grande quantité qu'il ne peut l'éliminer (Seiler, 2010), ce qui engendre une perte d'équilibre. À noter que lors d'efforts de très courte durée, comme une course de 400m, la lactatémie peut atteindre des valeurs allant jusqu'à $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Cazorla et al., 2001). Pour mettre en contexte l'utilisation sur le terrain, divers pourcentages de la VMA sont prescrits pour établir des zones et des allures d'entraînement. Par contre, ces zones peuvent être très variables d'un individu à un autre et ne reflètent pas nécessairement les

transitions métaboliques. Par exemple, le SL1 représente environ entre 45 et 85% de la VMA et le SL2 représente, quant à lui, environ entre 80 à 90% de la VMA, dépendamment du niveau de l'individu (Lacroix, 2022).

Le capteur de puissance Stryd

En complément des méthodes physiologiques traditionnelles, comme la lactatémie, il est aussi possible de modéliser ces états physiologiques transitoires en utilisant la puissance de travail en Watts dans le but de mieux individualiser les zones d'entraînement. La puissance correspond au taux de travail effectué par unité de temps et peut être définie comme le produit de la force et de la vitesse. En course à pied, elle est estimée à l'aide d'unités de mesure inertielle (UMI) intégrant un capteur de mouvement inertiel à 6 axes, comprenant trois axes d'accéléromètres et trois axes de gyroscopes. Les gyroscopes sont des dispositifs qui analysent la propriété de l'inertie, soit la résistance à un changement de mouvement angulaire alors que les accéléromètres mesurent les mouvements linéaires (Olaya-Cuartero et Cejuela, 2020). Comme le capteur est fixé aux lacets de la chaussure plutôt que sous le pied, il est important de comprendre que la puissance mesurée correspond à une estimation issue d'un modèle et non à une mesure directe de la puissance mécanique. Cette estimation est basée entre autres sur la force appliquée par le participant en fonction de la taille, de la masse corporelle et de la vitesse grâce à la technologie de GPS lors d'une course extérieure et des UMI lors d'une course intérieure (Cartón-Llorente et al., 2021). En plus d'estimer la puissance, l'appareil permet également d'estimer la vitesse, la distance, le temps de contact au sol, la longueur de pas, la cadence, la raideur

des jambes ainsi que l'oscillation verticale (Jaén-Carillo et al., 2024). L'un des principaux avantages de la puissance est qu'elle reflète directement la demande mécanique de l'effort, permettant ainsi de quantifier l'intensité indépendamment des variations d'allure causées par le vent ou le relief, tout en étant moins influencée par les facteurs physiologiques individuels que la fréquence cardiaque. (Olaya-Cuartero et Cejuela, 2020). De plus, il s'agit d'une mesure instantanée. Dès que le pied se pose au sol, les données spatio-temporelles de la course sont récoltées (Carton-Llorente et al., 2021).

Lorsqu'on parle de la puissance dans le sport, on pense automatiquement au cyclisme. En effet, depuis 1986 les cyclistes utilisent des capteurs de puissance pour gérer leurs efforts. Le premier capteur de puissance portatif (SRM) a été créé en Allemagne par Uli Schoberer, un cycliste et étudiant en ingénierie (Allen et al., 2019). Les avancées scientifiques dans le domaine du cyclisme ont ainsi contribué à faire évoluer les méthodes d'évaluation et de prescription de l'entraînement, influençant d'autres disciplines d'endurance, dont la course à pied, à adopter une approche similaire. (Allen et al., 2019). Il aura fallu attendre à 2015 pour voir émerger les premiers capteurs de puissance dans le monde de la course à pied (Stryd, 2015). Le principal avantage d'utiliser la puissance en course à pied plutôt que l'allure est que celle-ci tient compte des variations du relief et des conditions météorologiques, telles que le vent et les côtes, puisque ces facteurs sont intégrés dans le calcul de la puissance estimée par le capteur.

Il existe quelques modèles de capteurs de puissance spécifiques à la course à pied, notamment le capteur Stryd (Stryd Inc., Boulder, CO, États-Unis), le système RunScribe (Scribe Labs, San Francisco, CA, États-Unis), ainsi que plusieurs montres GPS offrant ce type de données. Par contre, à ce jour, le Stryd sort du lot étant donné sa popularité et de son positionnement au pied. Il s'agit d'un petit appareil en fibre de carbone de 3 cm par 2 cm, pesant 9,1 grammes et ayant une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz (Olaya-Cuartero et al., 2020). Pour un visuel du capteur, consulter la figure 1.



Figure 1. Le capteur de puissance Stryd (Stryd, <https://www.stryd.com/ca/fr>)

L'idée de création de ce capteur de puissance a débuté en 2011 avec un petit groupe d'ingénieurs basé à Boulder au Colorado. Le projet a finalement vu le jour via la plateforme « *Kick Starter* » avec un vidéo prometteur, dans le but d'amasser des fonds pour aider au développement de l'outil. Près de 350 000\$ US ont été amassés en seulement 40 jours vers la fin de l'année 2015 (Stryd, 2015). Depuis sa création, 6 générations de modèles ont été créées dans le but d'améliorer ses fonctionnalités (Chanez, 2023). La

première version était un petit capteur de forme rectangulaire placé directement derrière le short du coureur. Ce modèle fût très rapidement supprimé et remplacé par une ceinture placée au niveau de la poitrine. Il aura fallu attendre à 2016 pour que le capteur soit enfin placé au niveau du pied, communément appelé « *Stryd foot pod* » (Chanez, 2023). De cette manière, inséré entre les lacets d'un soulier de course, une meilleure estimation de la puissance déployée est possible. En 2019, le « *Stryd Wind* » a fait son apparition avec une amélioration au niveau de la résistance de l'air. À ce jour, la version de 2022 reste la version la plus utilisée, soit le « *Stryd Next Generation* ». Il s'agit du même type de capteur mais ayant 5 fois plus de réactivité que le « *Stryd Wind* », ce qui permet une meilleure estimation de tous les paramètres. Finalement, la dernière version est le « *Stryd Duo* » qui a été créé en 2023. Avec cette version, un capteur est installé sur chaque pied, d'où le nom « duo ». Le « *Stryd Duo* » permet un aperçu d'équilibre et de déséquilibre entre les deux jambes plutôt que de se fier seulement aux données d'une seule jambe (Chanez, 2023).

Malgré qu'il s'agisse d'un outil relativement nouveau, plusieurs études ont déjà été réalisées à son égard. Il est considéré comme l'appareil le plus recommandé pour mesurer la puissance par rapport aux autres appareils sur le marché (Olaya-Cuartero et Cejuela, 2020). Le Stryd a démontré une répétabilité et un niveau d'accord élevé avec le travail externe et la consommation d'oxygène dans différents environnements et conditions, par exemple à l'intérieur, à l'extérieur, avec ou sans inclinaison, à différentes vitesses, etc. (Cerezuela-Espejo et al., 2021; Garcia-Pinillos et al., 2019; Imbach et al., 2020; Ruiz-Alias et al., 2024; Ruiz-Alias et al., 2023; Toboga et al., 2022). Par ailleurs, la validité du

Stryd pour mesurer la puissance en course à pied a également été démontrée, avec un bon niveau d'accord avec les méthodes de référence (Carton-Llorente et al., 2021). Il s'agit donc de la technologie la plus reproductible pour tous les types de niveaux de coureurs, tous les environnements et pour toutes les conditions ($SEM \leq 12,5$ W, $CV \leq 4,3\%$, $(ICC \geq 0,980)$). De plus, la puissance relative (W/kg) est fortement corrélée avec le coût métabolique ($\dot{V}O_2$) ($r = 0,96$), en plus d'avoir une relation entre la puissance et la vitesse qui est quasi parfaite ($r = 0,999$) (Olaya-Cuartero et Cejuela, 2020). En modélisant les données recueillies par les capteurs de puissance, il est possible de générer des équations mathématiques permettant d'établir des zones d'entraînement. Cette approche réduit le recours à des évaluations physiologiques comme la mesure de la lactatémie ou de la consommation d'oxygène, qui sont plus coûteuses, moins accessibles et nécessitent un équipement spécialisé. L'utilisation de la puissance permet d'obtenir deux paramètres supplémentaires, soit la puissance critique (PC) et le réservoir énergétique supra-puissance critique (W'). Ces deux paramètres sont extrêmement pertinents, que ce soit en termes de stratégie de course ou simplement pour s'entraîner aux bonnes allures et dans les bonnes zones d'entraînement, que ce soit en endurance fondamentale, au seuil ou au $\dot{V}O_{2max}$.

La puissance critique (PC):

Il s'agit d'un concept apparu en 1965 avec les travaux de Monod et Scherrer (1965). Pendant plusieurs années, il s'agissait d'un paramètre uniquement utilisé dans le monde du cyclisme, d'abord en laboratoire et ensuite sur le terrain, où seuls les cyclistes étaient

équipés de capteurs de puissance. Heureusement, avec l'apparition des capteurs de puissance à la course à pied en 2015, la puissance critique y est maintenant également utilisée.

Énormément utilisée dans les sports d'endurance dans les dernières années, la puissance critique est décrite comme la puissance maximale déployée permettant de maintenir un état d'équilibre aérobie maximale, que ce soit au niveau de la fréquence cardiaque, de la concentration du lactate dans le sang, de la consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$), de la fréquence respiratoire, etc. (Dearing et Paton, 2022). Essentiellement, la puissance critique est la plus haute intensité maintenue à cet état d'homéostasie, sans accumuler de fatigue du métabolisme anaérobie (Maturana et al., 2018). En dessous de cette puissance critique, le corps peut assez bien gérer et éliminer les sous-produits métaboliques, ce qui évite l'accumulation de la fatigue. Par contre, au-dessus de la puissance critique, ces sous-produits s'accumulent plus rapidement que le corps ne peut les éliminer, ce qui va conduire à l'épuisement. Comme illustré à la figure 2, il s'agit de la ligne rouge horizontale indiquée CP « *critical power* », soit la puissance critique.

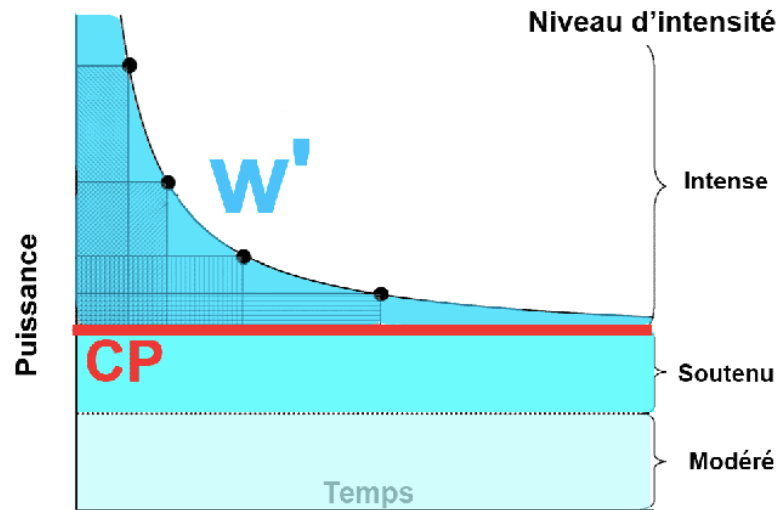


Figure 2. Illustration de la PC et du W' .

Tirée et adaptée de Jones et al (2010).

D'un point de vue plus pratique, la vitesse associée à la puissance critique pourrait être maintenue de 45 à 60 minutes selon le niveau de l'individu et permet de monitorer facilement les changements au niveau de la capacité du métabolisme aérobie (Kartsen, 2017). Ce paramètre est donc mis de l'avant comme une approximation de la capacité d'endurance d'un individu (Maturana et al., 2018).

La puissance critique peut présentement être déterminée avec l'aide d'une série de 2 à 5 tests à épuisement maximal. La durée des tests varie selon les différentes études, souvent avec des tests de 1 à 20 minutes (Maturana et al., 2018) et pouvant même atteindre 30 à 60 minutes (Ruiz-Alias et al., 2023). Ces tests peuvent être autant exécutés sur un tapis roulant que sur une piste extérieure. Cependant, il est important de noter que les résultats

obtenus ne sont pas 100 % interchangeables entre les deux environnements, puisque le coût métabolique mesuré sur tapis roulant est généralement inférieur à celui observé en conditions de course en extérieur (Ruiz-Alias et al., 2024). À la suite des tests, les données de puissance sont insérées dans les différentes équations pour modéliser le profil de puissance d'un sportif. Parmi les 5 modélisations les plus représentées dans la littérature, il y a 2 modèles linéaires et 3 modèles non linéaires (Ruiz-Alias et al., 2023).

$$\#1 \text{ (Hopkins et al., 1989): } PC_{exp} \rightarrow PO = PC + (P_{max} - PC) * \exp(-t/\tau)$$

$$\#2 \text{ (Morton, 1996): } PC_{3-hyp} \rightarrow t = (W'/PO - PC) + (W'/PC - P_{max})$$

$$\#3 \text{ (Monod \& Scherrer, 1965): } PC_{2-hyp} \rightarrow t = W'/(PO - PC)$$

$$\#4 \text{ (Moritani et al., 1981): } PC_{linear} \rightarrow W = W' + PC*t$$

$$\#5 \text{ (Whipp et al., 1982): } PC_{1/time} \rightarrow PO = W'*(1/t) + PC$$

Au besoin, voir la liste des abréviations à la page iii.

Pour la présente étude, les modèles de Morton (PC_{3-hyp}) à 3 paramètres et de Monod et Scherrer (PC_{2-hyp}) à deux paramètres ont été retenus pour déterminer la puissance critique (PC) et le travail anaérobie disponible (W'). Ces deux modèles comptent parmi les modèles les plus couramment utilisés et les mieux établis dans la littérature pour caractériser la relation entre la puissance produite et le temps jusqu'à l'épuisement (Ruiz-Alias et al., 2023).

À titre d'exemple, la puissance déployée lors d'un demi-marathon (21,1 km) serait une très bonne alternative pour prédire la puissance critique (95% CI : -0,11 à 0,37 W/kg) chez des coureurs entraînés (Olaya-Cuartero et al., 2023). La régression linéaire a démontré

une faible erreur standard d'estimation (0,29 W/kg) et une large association entre les méthodes ($r = 0,88$; $p = 0,002$). La puissance lors d'un demi-marathon représenterait donc environ 97,3% de la PC chez des athlètes entraînés.

Le réservoir énergétique supra-puissance critique (W'):

Le W' représente une quantité de travail, exprimée en joules, disponible lorsque l'individu déploie une puissance supérieure à sa puissance critique (Skiba et al., 2012). Cette quantité de travail peut être illustrée avec un réservoir d'énergie qui diminue exponentiellement selon la puissance déployée, lorsque celle-ci est plus élevée que la puissance critique. À cet instant, il y a une déplétion du W' alors qu'en-dessous de cette puissance critique, le W' se régénère. Alors, si on déploie plus de puissance que la puissance critique, on va puiser dans cette réserve d'énergie qui tire principalement son énergie des systèmes anaérobies. Plus la puissance déployée est élevée, plus la déplétion du W' est rapide et plus la puissance déployée est petite, plus la déplétion sera de longue durée. Le taux de déplétion du W' est donc proportionnel à l'écart entre la puissance exercée et la puissance critique. Par exemple, si un individu a une puissance critique de 300 Watts, lorsque celui-ci déploie 299 Watts, il n'utilise pas l'énergie de son réservoir W' . En revanche, dès qu'il déploie 301 Watts, il débute l'utilisation de l'énergie à partir de ce réservoir. Si on reprend la même illustration utilisée pour expliquer la puissance critique, soit la figure 2, l'aire quadrillée en bleu représente le W' .

Si un individu possède un W' de 20 000 joules (20 kJ), ce réservoir d'énergie supra-puissance critique peut être dépensée rapidement lors d'un effort réalisé à une puissance largement supérieure à la PC, ou plus progressivement lors d'un effort maintenu légèrement au-dessus de la PC. Ainsi, la même quantité d'énergie disponible peut être épuisée en quelques secondes à haute puissance ou sur une durée beaucoup plus longue lorsque l'intensité dépasse légèrement la PC (Skiba et al., 2012).

Comme expliqué pour le paramètre précédent, il s'agit du point de bascule entre un travail majoritairement aérobie, sous la puissance critique, et le début d'un travail provenant majoritairement de la filière anaérobique (Skiba et al., 2012). Bien que les processus aérobie et anaérobique expliquent une partie de ces phénomènes, celui-ci ne s'arrête pas là. Le W' est aussi corrélé à l'accumulation de métabolites associés à la fatigue musculaire locale, comme l'adénosine triphosphate, le phosphate inorganique, les ions potassium (K^+) et les ions hydrogène (H^+). De plus, la taille du W' est corrélée au taux métabolique de la phosphocréatine et aux réserves d'adénosine triphosphate intramusculaires (Chidnok et al., 2013).

Le W' est d'une importance considérable pour la performance et les aspects tactiques et stratégiques à la course à pied car l'épuisement complet du W' entraîne l'incapacité d'effectuer un effort supra-puissance critique (Skiba et al., 2012). Lorsque le W' est complètement épuisé, la seule option pour le coureur est donc de rétrograder à une puissance inférieure pour être en mesure de régénérer son W' . La maîtrise de ce paramètre

permet donc une optimisation de la performance, surtout lorsque l'athlète est tenu de faire des accélérations importantes par-dessus sa puissance critique comme lors d'une fin d'une course, sur des parcours vallonnés, des accélérations de rivaux ou de changement de direction du vent. Il est surtout possible de prédire un temps d'arriver selon la puissance déployée. Le modèle original à 2 paramètres de Monod et Scherrer de 1965 est représenté ainsi: $T_{lim} = W' / P - PC$, où T_{lim} représente le temps limite d'épuisement à l'effort. Il s'agit donc d'une relation linéaire entre le travail maximal et la durée maximale de l'effort jusqu'à épuisement. Ce modèle stipule qu'il existe un temps limite pratiquement infini pour une puissance inférieure à la PC et une puissance infinie pour un temps limite qui s'approche de 0 seconde. Ceci est naturellement impossible. Pour contrer cette impossibilité, un modèle mathématique a donc été créé par Morton en 1996 pour corriger cette situation. Un paramètre a été ajouté à l'équation pour contrer cette problématique, soit la puissance maximale pouvant être déployée (P_{max}). L'équation devient alors : $T_{lim} = (W' / P - PC) + (W' / PC - P_{max})$ (Maturana et al, 2018). Ainsi, de plus en plus de chercheurs élaborent des modèles mathématiques qui tendent à mieux refléter la nature des changements physiologiques réels.

PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

La principale problématique est qu'il n'est présentement pas exploré dans la littérature de déterminer et de valider la PC et le W' d'un participant avec un seul test. En effet, la littérature démontre qu'il faut réaliser entre 2 et 5 tests d'effort pour être en mesure d'avoir des données valides pour ces 2 paramètres (Maturana et al., 2018). En plus du nombre de tests à réaliser, ils ne sont parfois pas réalisés la même journée car il s'agit de tests d'effort maximaux. Cela oblige d'élaborer des protocoles de récupération entre les tests. Il y a donc une composante de temps qui est assez importante à prendre en considération, tout comme une composante de déplacement, et de motivation qui peuvent affecter les tests.

Plusieurs études démontrent que l'estimation de la PC et du W' peuvent varier selon les protocoles choisis et la durée de ceux-ci. En effet, certains tests surestiment et/ou sous-estiment la PC et le W'. Par exemple, le test d'effort du meilleur 3 minutes, lorsqu'utilisé seul, surestime la PC, en plus de sous-estimer le W' (Maturana et al., 2018). Il est donc recommandé d'utiliser également des tests de 12 minutes et plus, plutôt que de se baser uniquement sur des tests de moins de 12 minutes (Morton, 2006). De plus, les modèles linéaires (PC_{work} et $PC_{1/time}$) ont tendance à surestimer la puissance de course à déployer pour une durée de 30 minutes ($\geq 4,4\%$) et la différence augmente encore plus pour une durée de 60 minutes ($\geq 8,1\%$). De leur côté, les modèles non linéaires (PC_{2hyp} , et PC_{3hyp}) fournissaient une estimation beaucoup plus précise, mais avec tout de même une légère sous-estimation de la puissance à déployer pour une durée de 30 minutes ($\leq 2,6\%$) (Ruiz- Alias et al., 2023).

À ce jour, le protocole le plus utilisée pour déterminer la PC et le W' est de faire un test de 9 minutes d'effort suivi d'un test de 3 minutes, avec seulement 30 minutes de récupération entre les 2 tests (Ruiz-Alias et al., 2024). Lors de ces tests, le but est de déployer la plus haute valeur de puissance en étant le plus constant possible du début à la fin. Selon l'étude publiée, faire les 2 tests dans cet ordre et avec ce temps de récupération permettrait d'obtenir des données de PC et de W' valides (Ruiz-Alias et al., 2024). Par contre, il est démontré que la puissance critique est affectée par la fatigue (Clark et al., 2019). Trente minutes de récupération affectent clairement la puissance déployée lors du 2^e test d'effort. De plus, ce protocole ne prend pas en compte qu'il est recommandé, selon Morton (2006), d'inclure un test de 12 minutes et plus pour obtenir des données plus fiables. Donc, l'élaboration d'un nouveau protocole est très pertinente pour combler ces problèmes.

OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif principal de cette recherche est donc de valider un test d'effort sur tapis roulant en une épreuve unique afin de proposer une méthode valide et applicable pour l'évaluation de la puissance critique et du W'. Pour ce faire, il faudra analyser les résultats obtenus avec les tests présentement utilisés, soit les tests d'effort d'épuisement de 3 et 12 min (Morton, 2006). Par la suite, des profils de puissance seront déterminés en fonction des résultats obtenus.

PAPIER SCIENTIFIQUE CIBLÉ

Les résultats qui suivent ont été formaté selon le papier scientifique visé. Les résultats présentés ci-dessous ont été structurés conformément aux exigences de présentation du journal scientifique ciblé.

Validation of a Single-Test Treadmill Protocol for the Determination of Critical Power and W' Using Running Power

Olivier Gélinas¹, François Trudeau¹, Claude Lajoie¹

¹Department of Human Kinetics, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières,
QC, Canada

Abstract

Power parameters, particularly critical power (CP) and the supra-critical energy reserve (W'), are increasingly used for training planification in runners. However, their determination generally requires at least two separate tests. This study aimed to simultaneously estimate CP and W' from a single trial. The name of this new protocol is the Single Running Test – CP (SRT-CP). Participants completed three treadmill tests, separated by at least 48 h and no more than 7 days: a new protocol designed to obtain CP and W' in a single effort, followed by the two standard tests commonly used (best 3-min and best 12-min efforts). The average power of each stage was measured using a Stryd power meter. Results indicate a very strong correlation between CP estimated by the SRT-CP and the reference methods ($r = 0.98$; $p < 0.001$), despite a systematic underestimation of -13.7 W and limits of agreement ranging from -40.0 to 12.5 W. In contrast, W' was systematically overestimated (mean bias: $+7\,881$ J), with wide limits of agreement ($-9\,880$ to $25\,641$ J), reflecting high inter-individual variability in agreement between

methods. Therefore, the SRT-CP can be recommended for estimating critical power in practical contexts, whereas its use for assessing W' warrants further investigation.

Keywords

Lactate threshold – Stryd – Endurance performance

1. Introduction

Running has played a fundamental role in human history, initially emerging as a means of survival before evolving into a structured physical activity and a globally practiced sport for both recreational and competitive purposes (Bramble & Lieberman, 2004). This evolution occurs within the context of an increasing professionalization of sport, where performance is now analyzed and optimized using scientific and technological tools. Over the past decades, running training has been profoundly transformed by the advent of GPS watches, carbon-plated shoes, advanced nutritional strategies, and new training methods, enabling more precise quantification and greater individualization of training loads.

Traditionally, training prescription is based on pace associated with maximal aerobic speed (MAS), lactate thresholds, or competition performance (Schnitzler, 2008). Although widely validated, these approaches have certain limitations, including their sensitivity to environmental conditions and their difficulty in accurately representing individual metabolic transitions. Lactate thresholds, while useful for individualizing training, often rely on arbitrary blood lactate values (Billat, 2001; (Baldari et Guidetti,

2000) and require invasive measures that can be challenging to its consistent implementation in field settings (Seiler, 2010).

In this context, the emergence of power meters in running has contributed to a paradigm shift in training quantification. Unlike speed, power provides a more stable measure of external load, less influenced by environmental factors such as wind or gradient. Since the introduction of the first running-specific power meters in 2015, notably the Stryd, several studies have demonstrated their validity, reliability, and reproducibility across a wide range of conditions and environments (Cerezuela-Espejo et al., 2021; Garcia-Pinillos et al., 2019; Olaya-Cuartero & Cejuela, 2020). As reported in these studies, measured power is strongly correlated with oxygen consumption and metabolic cost, making it a relevant indicator of exercise intensity.

One of the main advantages of using power lies in the ability to model key physiological parameters, particularly critical power (CP) and Work Prime (W'), concepts initially developed using ergometers in a laboratory (Monod & Scherrer, 1965). CP is described as the maximal power output that can be sustained while maintaining a state of maximal aerobic steady state, whether in terms of heart rate, blood lactate concentration, oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), respiratory rate, and other physiological variables (Dearing & Platon, 2022). In contrast, W' represents a finite amount of work, expressed in joules, available when the individual produces power above their CP (Skiba et al., 2012). These parameters

are now recognized as robust indicators of endurance capacity, tolerance to high-intensity effort, and running performance (Maturana et al., 2018; Ruiz-Alias et al., 2023).

However, despite their theoretical and practical relevance, current methods for determining critical power (CP) and Work Prime (W') rely on performing multiple maximal effort tests, often conducted on separate days. This approach entails significant logistical constraints, potential residual fatigue that may affect results, and increased variability depending on the protocols and mathematical models used (Maturana et al., 2018; Ruiz-Alias et al., 2023). Moreover, certain test durations can lead to an overestimation or underestimation of CP and W', limiting their operational use in training contexts.

Therefore, the development and validation of alternative protocols that are simpler, faster, and require fewer tests appear necessary to facilitate the integration of CP and W' into running training prescription and monitoring. The aim of the present study is thus to validate a new single-trial treadmill protocol, based on a single series of efforts, by comparing the CP and W' values obtained with those from the currently used exhaustion tests, notably the 3- and 12-minute efforts (Ruiz-Alias et al., 2024).

In addition, the relationships between CP estimates and 5-km performance were explored to provide further support for the physiological relevance of the values obtained with the new protocol. To the best of our knowledge, this approach remains unexplored.

2. Materials and methods

2.1. Experimental design

Participants completed three tests, separated by at least 48 hours and no more than 7 days: the SRT-CP, designed to simultaneously estimate critical power (CP), work prime (W') and maximal power (P_{max}), followed by the two reference tests commonly used (3- and 12-minute maximal mean power tests). The order of the tests was standardized for all participants: Day 1 – SRT-CP; Day 2 – 3-minute MMP test; Day 3 – 12-minute MMP test.

This sequence was intended to ensure comparable experimental conditions and to facilitate comparison between the new protocol and the reference methods. All tests were performed on a treadmill in a laboratory maintained at 20–22 °C with a relative humidity of 40–50%. Participants wore the same pair of shoes for all tests, along with a racing outfit of their choice.

2.2. Participants

Fifteen participants were initially recruited for the study. However, data from three participants had to be excluded: two due to instrumental issues with the treadmill and one due to a recent injury that compromised the validity of the results. The final sample therefore included 12 participants, 9 men and 3 women (see Table 1). All participants were semi-elite runners from Quebec, meeting strict criteria: women with 5-km times under 20 minutes and men under 18 minutes, at least two years of running experience, a

minimum of four training sessions per week, including at least one treadmill session, and no injuries requiring a complete cessation of running for two or more weeks in the past four months.

Prior to participation, all subjects were informed of the study objectives, risks, and potential benefits, and provided written informed consent. The research protocol was approved by the ethics committee of the Université du Québec à Trois-Rivières (No. CER-25-321-08.09) and adhered to the Declaration of Helsinki as well as the ethical guidelines for research in sport and exercise sciences (Harriss et al., 2019).

Table 1. Demographic and anthropometric characteristics of the participants

	Females (n = 3)	Males (n = 9)	Total (n = 12)
Age (years)	23.7 ± 2.5	22.89 ± 1.84	23.08 ± 1.73
Body height (cm)	167.0 ± 4.58	184.0 ± 5.94	179.75 ± 9.41
Body mass (kg)	58.70 ± 2.10	71.89 ± 3.76	68.58 ± 6.84
BMI (kg/m ²)	21.07 ± 1.31	21.26 ± 1.34	21.22 ± 1.27
Best 5k (min)	18.99 ± 0.8	16.26 ± 0.71	16.94 ± 1.42

Note. Values are presented as mean ± standard deviation.

Abbreviations: *BMI*: *body mass index*.

2.3. Test #1 - The Single Running Test – CP

This treadmill protocol (Figure 3) was designed to estimate critical power (CP) and Work Prime (W'), as well as to determine maximal power output (Pmax) and obtain data on the

contribution of the anaerobic system measured via blood lactate. The total duration of the test ranges from 60 to 80 minutes, depending on the number of stages completed.

2.3.1. Phase 1 – Determination of critical power

Participants began with a walking stage at 6 km/h, followed by 7 to 10 running stages of 3 minutes each, interspersed with 1 minute of passive rest during which manual and foot support was provided at the sides of the treadmill. Speed started at 9 km/h for women and 10 km/h for men, increasing by 1 km/h at each stage. All stages were performed at a 1% incline. Blood lactate measurements were taken during each passive rest period. The stage ended when a second lactate increase of $\geq 0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ from the previous value was observed, with the second increase being greater than or equal to the first, according to the criterion proposed by Baldari and Guidetti (2000). The speed reached at this stage then corresponds to the maximum speed to remain below the second lactate threshold and maintain a steady state according to the method of Baldari and Guidetti (2000). The speed corresponding to this lactate threshold was therefore considered as the speed associated with the critical power (CP) and used as its derived running speed. A 5-minute active recovery at 4 km/h was performed before the second phase.

2.3.2. Phase 2 – Determination of Maximal Power (Pmax)

The following phase, inspired by the Maximal Anaerobic Reserve Power (MARP) test, began at a speed 4 km/h higher than the final stage of the first phase. For this phase, the treadmill was set to a 7% incline (Rusko et al., 1993). Participants were required to

complete between 2 and 4 stages, adjusting the speed between each stage to reach maximal power output (P_{max}) while minimizing energy expenditure. If the treadmill's maximum speed (ranging from 23.33 to 24 km/h depending on the treadmill) was reached, the incline was increased using the same increment criteria as for speed. An 8-minute active recovery at 4 km/h followed this stage. The highest power value recorded in watts was considered the achieved P_{max} .

2.3.3. Phase 3 – Determination of W'

Finally, participants performed a stage to exhaustion at a constant speed set 1 km/h above the final stage of the first phase (corresponding to approximately 104–108% of their CP). The treadmill incline was set again at 1%. The time to exhaustion (t) measured during this stage was used to calculate Work Pime (W') and incorporated into the PC3-hyp equation described in the section 2.5. The complete protocol is illustrated in Figure 3.

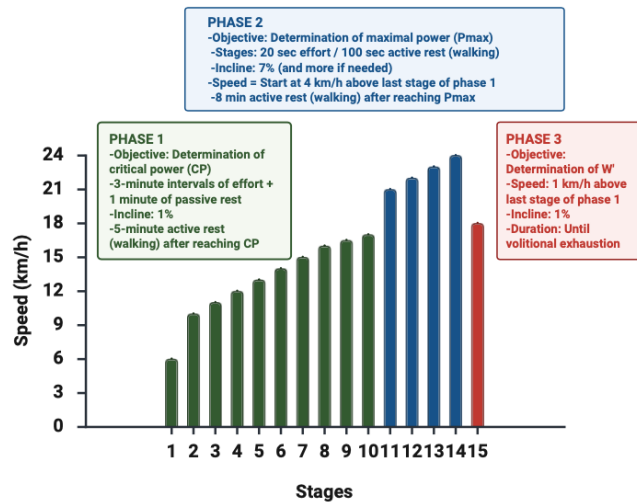


Figure 3. The Single Running Test – CP (SRT-CP)

2.4. Test #2 (3-min MMP) and Test #3 (12-min MMP)

To validate this new protocol, each participant completed two additional tests: a 3-minute test and a 12-minute test, in accordance with the methods proposed by Maturana et al. (2018) and Ruiz-Alias et al. (2024). All participants completed the tests in the same predetermined sequence to standardize the protocol and ensure that any potential order effect was consistent across participants. Prior to each test, participants performed a standardized warm-up consisting of 10 minutes of running at a self-selected pace, followed by 5 minutes of unstructured activation exercises and three progressive 30-second accelerations with 30 seconds of rest.

During the tests, participants were instructed to maintain the highest possible power output consistently for the prescribed duration. The treadmill speed was adjusted in collaboration with the participant, who could signal a request to increase or decrease the speed using a thumbs-up or thumbs-down gesture, as described in Ruiz-Alias et al. (2024).

2.5. CP and W' in each test obtained with the power meter

The running power meter (Stryd Summit Power Meter, Boulder, CO, USA) was used to determine the average absolute power (W) for each test, as it is considered the most recommended device for measuring running power compared to other devices on the market (Olaya-Cuartero et al., 2020). The Stryd has demonstrated high reliability both indoors (coefficient of variation $\leq 2.8\%$) and outdoors (coefficient of variation $\leq 4.3\%$) across different external work conditions (i.e., speed, body mass, and incline) (Cerezuela-

Espejo et al., 2021; Imbach et al., 2020; Ruiz-Alias et al., 2023; Toboga et al., 2022). Furthermore, relative power (W/kg) is strongly correlated with metabolic cost ($\dot{V}O_2$) ($r = 0.96$) and exhibits an almost perfect relationship between power and speed ($r = 0.999$) (Olaya-Cuartero & Cejuela, 2020).

As height and body mass are both required metrics for the power meter, each participant's height was measured before the first test, while body mass, which is more variable over time, was recorded before each of the three tests. The power meter was always attached to the laces of the participant's left shoe to ensure standardized placement and measurement consistency across sessions, in accordance with the manufacturer's recommendations.

Critical power (CP) and work prime (W') were calculated using two different equations for validation of the SRT-CP test. Morton's equation (Morton, 1996) was used to determine the power parameters associated with the new protocol, as this model incorporates three parameters, including maximal power. In this case, the hyperbolic PC3-hyp equation is formulated as follows:

$$PC_{3-hyp} \rightarrow t = (W'/PO - PC + (W'/PC - P_{max})).$$

For the 3- and 12-minute tests, the original two-parameter model of Monod and Scherrer (1965) was used instead. This version, referred to as PC2-hyp, is expressed as follows:

$$PC_{2-hyp} \rightarrow t = W'/(PO - PC)$$

Where:

- CP = critical power
- PO = observed power
- Pmax = maximal power
- t = time
- W' = work capacity above CP

2.6. Statistical analysis

Descriptive data are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD) along with 95% confidence intervals (CI). Agreement between estimates of critical power (CP, expressed in watts) and Work Prime (W', expressed in joules) obtained from the new protocol and the reference methods was assessed using Bland–Altman analyses, which allowed the determination of the mean bias and limits of agreement (LoA) with their 95% CI. The linear relationship between the two methods was examined using Pearson's correlation coefficient. All statistical analyses were performed using R software, with the significance level set at $p \leq 0.05$.

3. Results

3.1. Critical power (CP)

Estimates of critical power obtained from the SRT-CP showed a very strong correlation with those from the reference methods ($r = 0.98$; 95% CI: 0.91–0.99; $p < 0.001$). The mean CP derived from the SRT-CP was 319.5 W ($4.64 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$), whereas the mean CP obtained from the reference methods (3- and 12-MMP tests) was 333.3 W ($4.83 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$). When

analyzed by sex, the mean absolute and relative CP obtained from the SRT-CP were 245.3 W ($4.19 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) in women and 344.1 W ($4.79 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) in men, respectively. For the reference methods, mean CP values were 248.3 W ($4.24 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) in women and 361.6 W ($5.03 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) in men. Given that only three women participated in the study, the remaining analyses and graphical representations were not stratified by sex to avoid overinterpreting results from this small subgroup. Bland–Altman analysis revealed a mean negative bias of 13.7 W (95% CI: -22.2 to -5.2 W), indicating a systematic underestimation of CP by the SRT-CP. The limits of agreement ranged from -40.0 to 12.5 W (Figure 4), suggesting substantial inter-individual variability in agreement between the two methods.

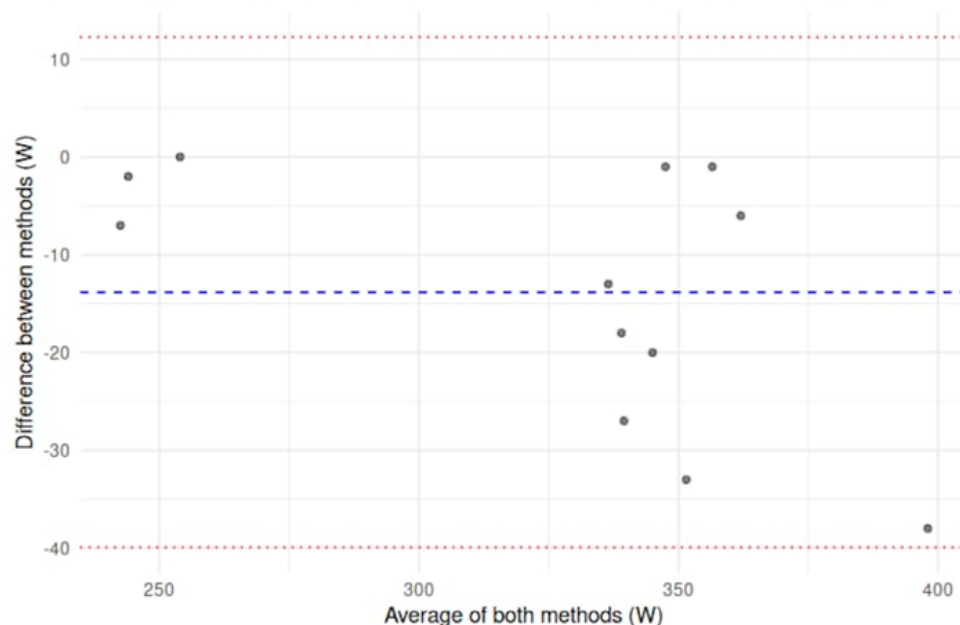


Figure 4. Bland–Altman plot showing the agreement between two methods for the determination of critical power (CP).

Note: The blue line represents the mean bias, while the red lines indicate the 95% limits of agreement ($\text{mean} \pm 1.96 \text{ SD}$). Each point represents one participant.

3.2. W'

The analysis revealed a mean positive bias of 7881 J (95% CI: 2 123 to 13 638 J), indicating a systematic overestimation of W' by the SRT-CP compared to the reference methods. The mean W' derived from the SRT-CP was 19 920 J, whereas the mean W' obtained from the reference methods (3 and 12-min MMP tests) was 12 040 J. The limits of agreement ranged from -9 880 to 25 641 J (Figure 5), reflecting high inter-individual variability in agreement between the two methods.

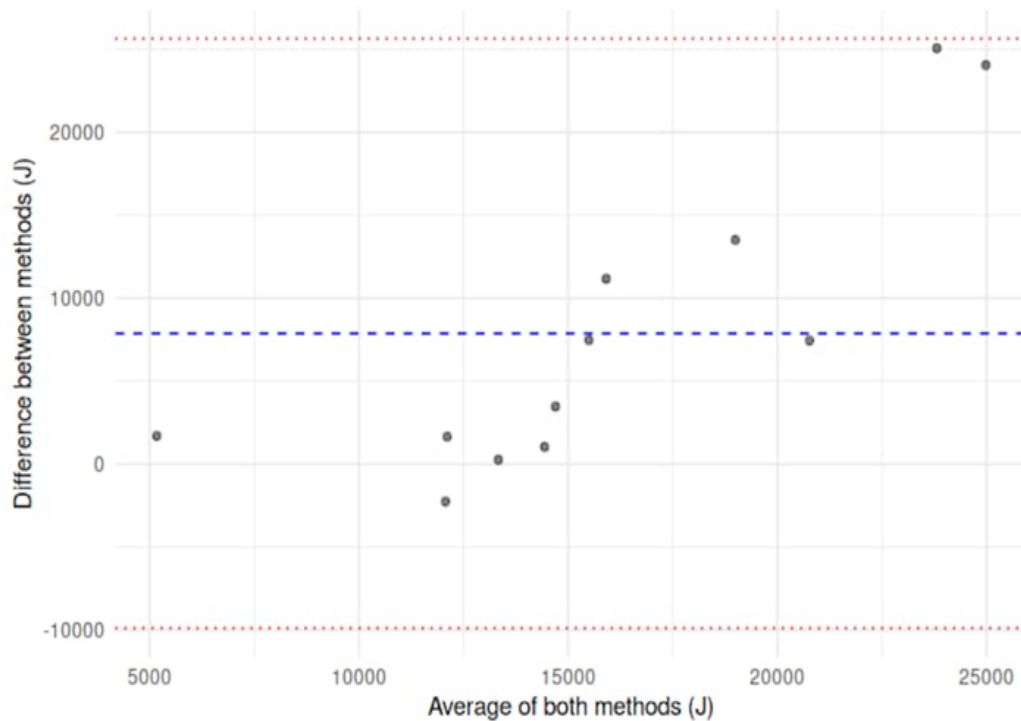


Figure 5. Bland–Altman plot showing the agreement between two methods for the determination of W'.

Note: The blue line represents the mean bias, while the red lines indicate the 95% limits of agreement (mean $\pm$ 1.96 SD). Each point represents one participant.

In contrast to critical power, the correlation between W' estimates was weak and not significant ($r = 0.34$; 95% CI: -0.29 to 0.76 ; $p = 0.28$), suggesting a limited relationship between the methods for estimating this variable.

3.3. Test #1 - The Single Running Test - CP

3.3.1. Phase 1

The data presented in Table 2 correspond to the final stage of phase 1 of the SRT-CP associated with critical power. Overall, participants completed this stage at an average heart rate of 164.8 ± 10.8 bpm, corresponding to $87.87\% \pm 3.3\%$ of their maximal heart rate achieved during the entire test. The speed reached at the end of the stage averaged 16.6 ± 1.3 km/h, associated with by a blood lactate concentration of 3.0 ± 0.7 mmol·L⁻¹, representing $35.4\% \pm 7.0\%$ of the maximal lactate measured. The mean absolute critical power was 319.50 ± 47.10 W, corresponding to 4.6 ± 0.3 W/kg when expressed relative to body mass. Reported ratings of perceived exertion were moderate, with a mean RPE of 6.1 ± 1.6 for the legs and 6.1 ± 1.7 for ventilation, indicating a perceived effort consistent with exercise at the lactic threshold.

3.3.2. Phase 2

The data presented in Table 3 corresponds to the final stage of phase 2 of the SRT-CP, associated with maximal power. Participants exhibited a mean absolute maximal power of 430.38 ± 63.51 W, corresponding to a relative maximal power of 6.25 ± 0.38 W·kg⁻¹. Blood lactate concentrations reached an average of 7.8 ± 2.4 mmol·L⁻¹, demonstrating

notable inter-individual variability. The ratio between lactate in phase 2 and maximal lactate was $86.0 \pm 19.0\%$. The mean treadmill speed was $22.71 \pm 1.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, with an average incline of $8.8 \pm 2.2\%$.

3.3.3. Phase 3

The data presented in Table 4 correspond to the stage of phase 3 of the SRT-CP, associated with Work Prime (W'). Participants reached a mean time to exhaustion (T_{lim}) of $835.42 \pm 286.18 \text{ s}$, corresponding to an intensity of $105.93 \pm 1.12\%$ of critical power. The W' expended during this phase averaged $19920.42 \pm 9631.18 \text{ J}$, with marked inter-individual variability, reflecting substantial differences in tolerance to exercise above critical power. Perceived exertion was particularly high, with mean ratings of 9.8/10 for the legs and 9.5/10 for ventilation, confirming that this phase imposed maximal perceived strain. The mean blood lactate concentration reached $8.5 \pm 3.2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, and the ratio of phase 3 lactate to maximal lactate was $91.6 \pm 18.8\%$. Mean heart rate was $179.0 \pm 7.3 \text{ bpm}$, representing $95.18 \pm 1.7\%$ of the maximal heart rate achieved during this test.

3.4. Test #2 – 3-min maximal mean power test (3-min MMP test)

The results of the 3-minute test, presented in Table 5, show that participants reached a mean maximal heart rate of $187.2 \pm 6.5 \text{ bpm}$, accompanied by a post-exercise blood lactate concentration of $9.7 \pm 2.4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Perceived exertion was very high for both the legs and ventilation ($RPE = 9.9 \pm 0.3$ and 9.8 ± 0.4 , respectively). The mean power sustained

over the 3 minutes was 400.57 ± 65.77 W, corresponding to 5.78 ± 0.51 W·kg⁻¹, with an average distance covered of 1035.33 ± 95.82 m.

3.5. Test #3 – 12-min maximal mean power test (12-min MMP test)

The results of the 12-minute test, presented in Table 6, indicate that participants reached a mean heart rate of 188.3 ± 8.0 bpm. Post-exercise blood lactate concentration averaged 9.6 ± 2.6 mmol·L⁻¹, confirming a sustained metabolic demand. Perceived exertion was very high, with RPE for the legs at 9.6 ± 0.9 and RPE for ventilation at 9.4 ± 1.0 . Mean power output during the test was 350.62 ± 57.10 W, corresponding to 5.07 ± 0.44 W·kg⁻¹, and the average distance covered was 3563.00 ± 339.30 m.

3.6. Power curve

Figure 6 presents the individual power curves of the 12 participants, obtained from test #1, the SRT-CP, performed on a treadmill. The solid black curve represents the mean across all participants, modeled by the following equation: $y = 463.7x^{-0.046}$.

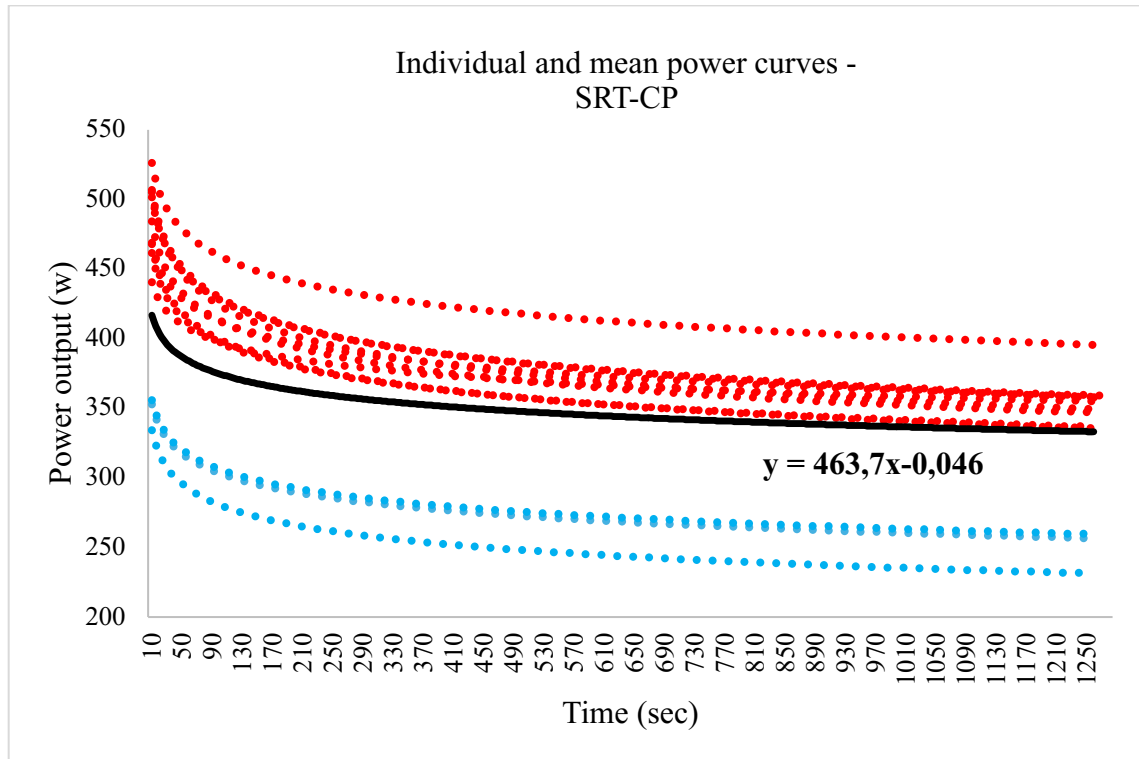


Figure 6: Individual and mean power curves - The Single Running Test - CP
Note: Red power curves = Male participant; Blue power curves = Female participant;
Black power curve = Mean.

Figure 7 presents the individual power curves of the 12 participants, obtained from tests #2 and #3, the 3-minute and 12-minute MMP tests performed on a treadmill. The solid black curve represents the mean across all participants, modeled by the following equation: $y = 659.91x^{-0.096}$.

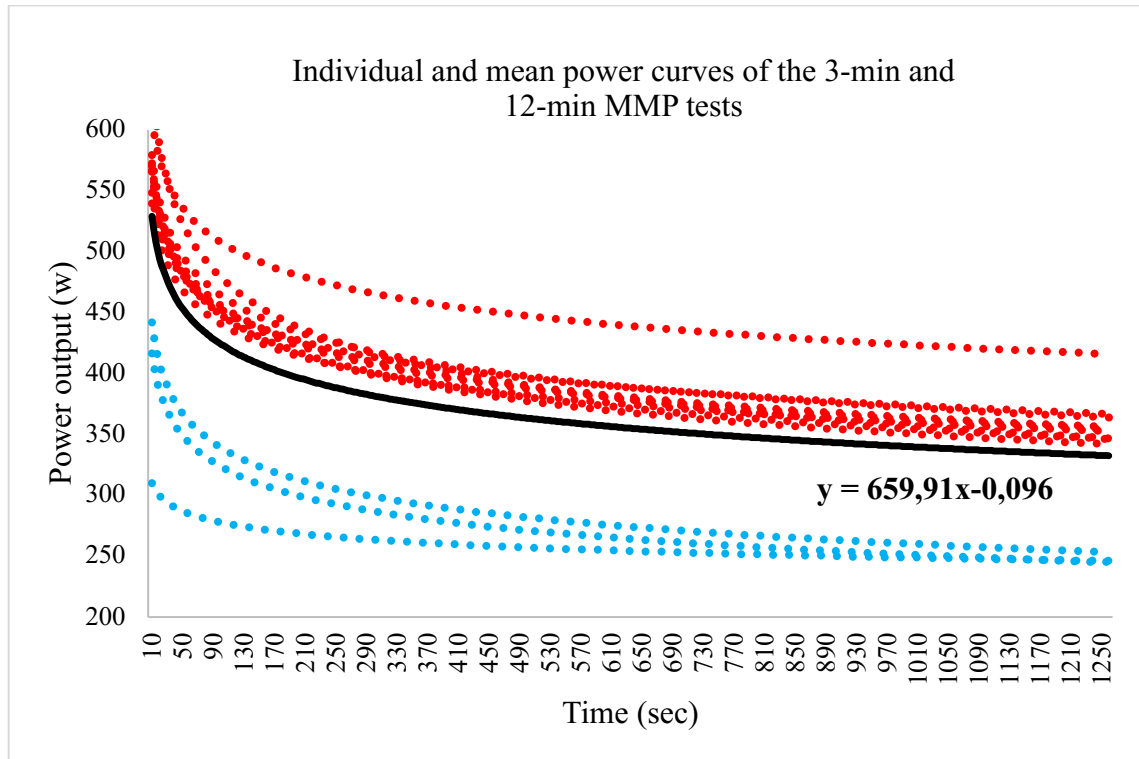


Figure 7: Individual and mean power curves of the 3-min and 12-min MMP tests
Note: Red power curves = Male participant; Blue power curves = Female participant;
Black power curve = Mean.

Figure 8 presents the average power curves obtained from the SRT-CP and the 3-minute and 12-minute MMP tests performed on a treadmill. The blue curve represents the mean of the participants on the SRT-CP, modeled by the following equation: $y = 463.7x^{-0.046}$. The orange curve represents the mean of all participants on the 3-minute and 12-minute MMP tests, modeled by the following equation: $y = 659.91x^{-0.09}$.

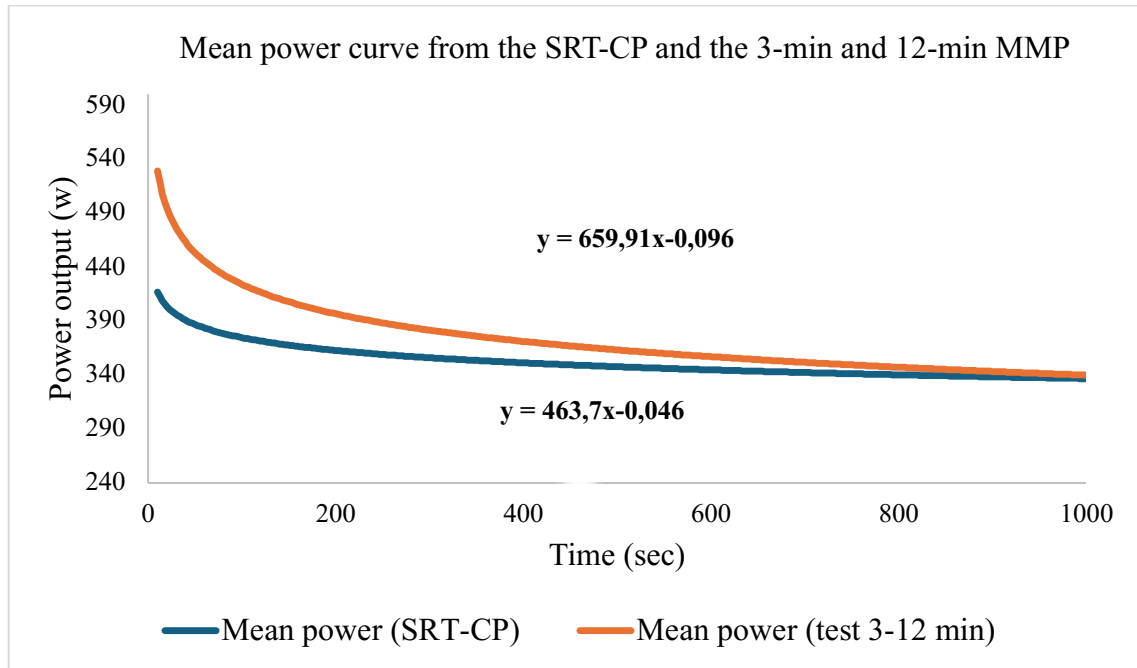


Figure 8: Mean power curve from SRT-CP and the 3-min and 12-min MMP

Table 2. Individual and mean data at the final stage of phase #1 of the SRT-CP

Participant	HR (bpm)	HR last step / HR max (%)	Speed (km/h)	Lactate (mmol·L ⁻¹)	Lactate last step / Lactate max (%)	Absolute PO (w)	Relativ e PO (W/kg)	RPE legs (/10)	RPE ventilation (/10)
1*	166	87.83	15.0	3.0	40.54	239.17	4.2	5.5	5.0
2	169	88.02	16.5	3.6	34.95	330.07	4.65	3.0	3.0
3	138	80.23	16.0	3.6	33.63	326	4.59	4.0	4.0
4	176	92.19	17.0	4.3	36.05	347.37	4.82	5.0	5.0
5	173	90.1	17.0	2.9	28.87	355.78	4.81	5.0	7.5
6	163	93.95	15.0	3.6	37.83	374.74	5.04	6.0	6.0
7*	180	90.45	13.63	3.0	36.59	243.32	3.98	5.0	6.0
8*	160	89.71	16.0	3.1	30.56	336.37	4.23	7.0	8.0
9	164	90.29	17.01	2.4	29.27	378.74	4.78	8.0	8.0
10	164	82.83	18.47	4.1	29.7	335.41	4.59	8.0	8.0
11	169	88.48	17.5	3.1	24.53	350.0	4.75	5.0	6.0
12	158	86.32	17.98	4.2	27.06	359.05	4.79	6.0	7.0
Mean	164.8	87.87	16.6	3.0	35.42	319.5	4.6	6.1	6.1
SD	10.8	3.3	1.3	0.7	7.0	47.1	0.3	1.6	1.7

Note. Values are presented as individual results and mean $\pm$ standard deviation.
Abbreviations: HR. heart rate; HRmax. maximal heart rate; PO. power output; RPE.
rating of perceived exertion; SD. Standard deviation; *. Female participant

Table 3. Individual and mean data at the final stage of phase #2 of the SRT-CP

Participants	Absolute max PO (W)	Relative max PO (W/kg)	Lactate (mmol·L ⁻¹)	Lactate Phase 2 / Lactate max (%)	Speed (km/h)	Treadmill gradient (%)
1*	317	5.56	7.6	100.0	19.5	7.0
2	461.5	6.25	10.9	100.0	24.0	9.0
3	441	6.21	7.4	71.84	23.0	7.0
4	479	6.65	6.1	44.85	24.0	9.0
5	368	5.91	6.5	78.47	24.0	7.0
6	451	6.44	13.0	100.0	22.36	8.0
7*	337	5.52	8.0	97.56	20.41	10.0
8*	340	5.49	7.5	29.51	21.87	13.0
9	505	6.39	8.2	100.0	23.33	13.0
10	427	6.0	8.0	57.55	23.33	10.0
11	466	6.46	8.0	57.55	23.33	13.0
12	478	6.37	5.1	89.47	23.33	9.0
Mean	430.38	6.25	7.8	86.04	22.71	8.8
SD	63.51	0.38	2.4	18.9	1.4	2.2

*Note. Values are presented as individual results and mean ± standard deviation.
Abbreviations: PO. power output; SD. Standard deviation; *. Female participant*

Table 4. Individual and mean data at the phase #3 of the SRT-CP

Participants	Tlim (sec)	Percenta ge of CP (%)	W' (J)	RPE. legs (/10)	RPE. ventilation (/10)	Lactate (mmol·L ⁻¹)	Lactate phase 3 / Lactate max (%)	HR (bpm)	HR last step / HR max (%)
1*	460	104.42	6019	10.0	10.0	7.4	97.37	180	95.24
2	1255	105.13	24489	10.0	10.0	10.0	100.0	182	94.79
3	901	105.52	19228	10.0	10.0	8.5	93.22	184	91.11
4	464	105.0	10937	10.0	10.0	13.6	100.0	177	92.7
5	540	106.28	10837	10.0	10.0	7.7	83.05	183	97.33
6	1200	107.28	37001	10.0	10.0	7.8	58.65	177	95.7
7*	900	107.82	21493	10.0	10.0	8.1	100.0	191	98.95
8*	720	105.84	12934	10.0	10.0	6.8	100.0	186	97.66
9	1140	105.62	25750	10.0	10.0	10.6	45.12	176	97.71
10	1065	107.41	36339	9.0	9.0	4.9	100.0	180	97.82
11	780	106.84	14957	9.0	9.0	5.6	100.0	173	93.48
12	600	105.26	13465	10.0	9.5	5.7	100.0	174	95.08
Mean	835.42	105.93	19920.42	9.8	9.5	8.5	91.6	179.0	95.18
SD	286.18	1.12	9631.18	0.4	0.5	3.2	18.8	7.3	1.7

*Note. Values are presented as individual results and mean ± standard deviation.
Abbreviations: Tlim. temps limite de l'effort; CP. critical power; W'. finite work capacity
available above critical power; RPE. rating of perceived exertion. HR. heart rate;
HRmax. maximal heart rate; SD. Standard deviation; *. Female participant*

Table 5. Individual and mean data from Test #2 (3-min MMP)

Participant	HR max (bpm)	Max lactate (mmol·L ⁻¹)	RPE. legs (/10)	RPE. ventilation (/10)	Absolute PO (W)	Relative PO (W/kg)	Distance (meters)
1*	187	6.8	10	10	269.99	4.74	856
2	191	12.8	10	9	443.23	6.24	1138
3	180	13.8	10	10	418.96	5.82	1040
4	193	7.7	10	10	422.06	5.78	1020
5	190	8	10	10	430.12	5.81	1058
6	185	13.2	10	10	427.56	6.11	1075
7*	199	9.7	10	9	303.32	4.57	874
8*	180	7.3	10	10	316.87	5.46	964
9	178	10.5	10	10	303.43	5.98	1085
10	190	10	10	10	431.06	5.63	1188
11	192	8.3	10	9.8	420.64	5.83	1091
12	181	8.8	10	10	438.57	5.85	1035
Mean	187.2	9.7	9.9	9.8	400.57	5.78	1035.33
SD	6.5	2.4	0.3	0.4	65.77	0.51	95.82

Note. Values are presented as individual results and mean ± standard deviation.

*Abbreviations: HR. heart rate; HRmax. maximal heart rate; RPE. rating of perceived exertion; SD. Standard deviation; *. Female participant*

Table 6. Individual and mean data from Test #3 (12-min MMP)

Participant	HR max (bpm)	Max lactate (mmol·L ⁻¹)	RPE. legs (/10)	RPE. ventilation (/10)	Absolute PO (W)	Relative PO (W/kg)	Distance (meters)
1*	188	7.7	10	10	252.73	4.34	3139
2	191	14.9	10	10	372.34	5.24	3737
3	171	12	10	9	370.19	5.14	3628
4	196	10.3	7	7	366.5	5.09	3528
5	192	8.8	9.5	10	375.78	5.08	3626
6	189	12.4	10	10	373.95	5.34	3882
7*	196	6.3	9	10	260.47	4.34	2985
8*	186	7.2	10	10	270.18	4.66	3070
9	181	7.9	10	10	434.46	5.84	3563
10	196	8	10	10	384.12	5.82	4123
11	195	11.8	10	10	362.89	5.34	3761
12	178	7.9	10	9.5	383.83	5.12	3597
Mean	188.3	9.6	9.6	9.4	350.62	5.07	3563.0
SD	8.0	2.6	0.9	1.0	57.10	0.44	339.3

Note. Values are presented as individual results and mean $\pm$ standard deviation.
Abbreviations: HRmax. maximal heart rate; RPE. rating of perceived exertion; SD.
*Standard deviation; *. Female participant*

Table 7: Comparison between Monod and Morton equations

Participant	PO test 3 min - Monod equation (W)	PO 3 min estimated based on SRT-CP - Morton equation (W)	Difference between PO 3 min Monod and Morton (W)	Difference between PO 3 min Monod and Morton (%)	PO test 12 min - Monod equation (W)	PO 12 min estimated based on SRT-CP test - Morton equation (W)	Difference between PO 12 min Monod and Morton (W)	Difference between PO 12 min Monod and Morton (%)
1*	270.0	262.0	8.0	2.96	253.0	246.0	7.0	2.77
2	443.0	397.0	46.0	10.38	372.0	357.0	15.0	4.03
3	419.0	381.0	38.0	9.07	370.0	348.0	22.0	5.95
4	422.0	389.0	33.0	7.82	367.0	360.0	7.0	1.91
5	430.0	409.0	21.0	4.88	376.0	375.0	1.0	0.27
6	428.0	409.0	19.0	4.44	374.0	370.0	4.0	1.07
7*	303.0	296.0	7.0	2.31	270.0	266.0	4.0	1.48
8*	317.0	293.0	24.0	7.57	270.0	269.0	1.0	0.37
9	485.0	446.0	39.0	7.99	434.0	407.0	27.0	6.22
10	431.0	398.0	33.0	7.66	384.0	367.0	17.0	4.43
11	420.0	378.0	42.0	10.0	363.0	348.0	15.0	4.13
12	439.0	405.0	34.0	7.74	384.0	375.0	9.0	2.34
Mean	400.6	371.9	28.7	6.9	351.4	340.7	10.8	2.9
SD	65.8	56.5	12.8	2.6	55.7	51.1	8.4	2.0

Note. Values are presented as individual results and mean $\pm$ standard deviation.
*Abbreviations: PO. power output; SD. Standard deviation; *. Female participant*

Table 7 presents the comparison between the actual power measured during the 3-minute and 12-minute MMP tests (based on Monod's equation) and the power estimated from the SRT-CP using Morton's equation.

On average, the power estimated at 3 minutes from the SRT-CP (371.9 ± 56.5 W) was lower than the actual power measured according to Monod's equation (400.6 ± 65.8 W).

For the 12-minute test, the power estimated from the SRT-CP (340.7 ± 51.1 W) was also lower than the actual value according to Monod (351.4 ± 55.7 W).

The relative difference between the two models tended to decrease with increasing exercise duration, from 6.9% in the 3-minute MMP test to 2.9% in the 12-minute MMP test, suggesting that estimates from Morton's equation become more accurate for prolonged efforts.

Overall, these results indicate that Morton's equation applied to the SRT-CP systematically underestimates the actual power predicted by Monod's equation, but this discrepancy diminishes as the duration of the effort increases.

3.7. Extrapolation of critical power to 105%

Figure 9 illustrates the relationship between the duration of the stage in phase 3 of the SRT-CP, extrapolated at 105% of critical power (CP), and the work capacity above CP (W'). Each point represents a participant.

A strong positive linear relationship was observed between the two variables: the longer the duration of the final stage, the higher the associated W' . This trend is highlighted by the regression line, with the following equation:

$$W' = 21,323 \times \text{duration} - 1559,2$$

with a coefficient of determination was $R^2 = 0.9022$, indicating that 90.22% of the variance in W' is explained by the extrapolated duration of the final stage. This reflects a very strong correlation between the two measures.

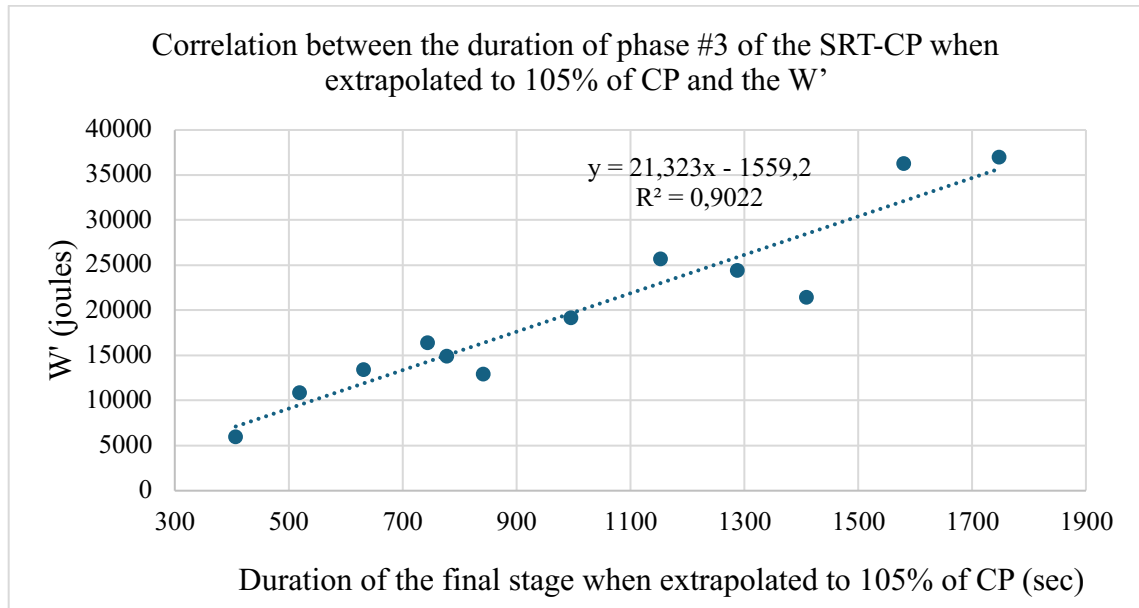


Figure 9: Correlation between the duration of phase #3 of the SRT-CP when extrapolated to 105% of CP and the W'

3.8. Relationship between the CP and the best 5k

Figure 10 presents the relationship between the average speed achieved in each participant's 5-km personal best and the critical power determined by the SRT-CP. A strong positive linear relationship was observed ($R^2 = 0.8141$), indicating that 81.41% of the variance in CP was explained by 5-km speed. The slope of the regression (0.7888) suggests that an increase of 1 m/s in 5-km speed was associated with an approximate 0.79 m/s increase in CP.

This relationship was statistically significant (Pearson's $r = 0.902$, $t(10) = 6.62$, $p < 0.001$), supporting a strong association between 5-km performance and CP estimated using the SRT-CP protocol.

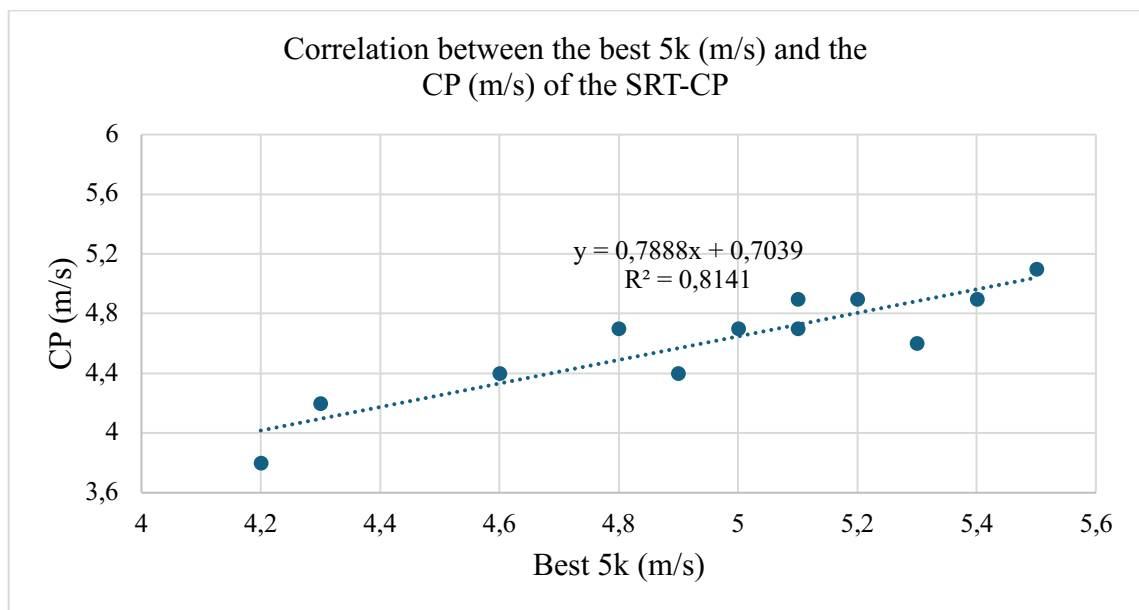


Figure 10: Correlation between the best 5k and the CP of the SRT-CP

3.9. Accuracy of W' based on the duration of the final stage of phase 3 in test #1

Figure 11 presents the relationship between W' obtained during the SRT-CP and the duration of the phase 3 stage of the same test. Each point represents data from an individual participant.

The overall trend shows a positive correlation. Participants who were able to sustain this stage for a longer period tended to have a higher W' . This relationship is quantified by the linear regression line, with the following equation:

$$W' = 28,785 \times \text{duration} - 4126,9$$

The coefficient of determination $R^2 = 0.7316$ indicates that 73.16% of the variance in W' is explained by the duration of the final stage. This reflects a substantial correlation, although slightly weaker than that observed under other conditions (e.g., when duration is extrapolated to 105% of CP). Physiologically, these results suggest that an athlete capable of sustaining exercise at 104–108% of their critical power for a longer period generally possesses a larger anaerobic reserve, as reflected by W' .

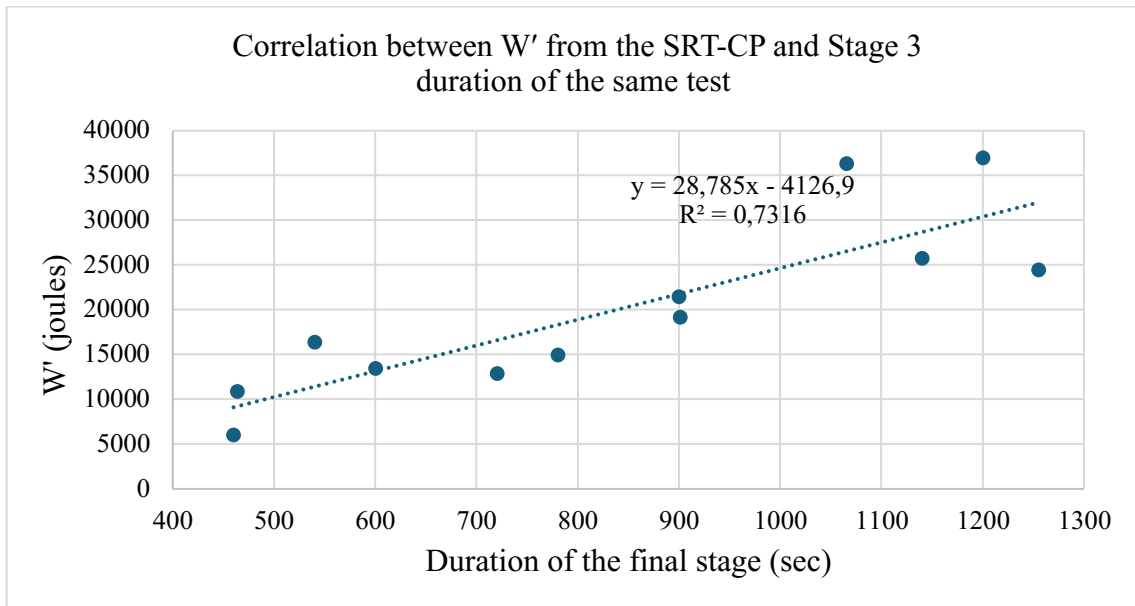


Figure 11: Correlation between W' from the SRT-CP and Stage 3 duration of the same test

3.10. Relationship between relative power from the 3-min and 12-min MMP test

Figure 12 illustrates the relationship between relative power obtained during the 3-minute MMP test and that measured during the 12-minute MMP test. A very strong linear correlation was observed ($R^2 = 0.9389$), indicating that 93.89% of the variance in relative power over 12 minutes is explained by the relative power achieved in the 3-minute test. This R^2 value demonstrates an extremely robust relationship between the two measures.

The slope of the regression line (0.8421) indicates that an increase of 1 W/kg in the 3-minute test corresponds, on average, to an increase of 0.84 W/kg in the 12-minute test. This relationship suggests that the 3-minute test, despite its shorter duration and predominantly anaerobic nature at the start, remains an excellent predictor of sustainable power during a prolonged 12-minute effort.

The experimental points are closely distributed around the regression line, confirming the stability and consistency of the measurements between the two tests.

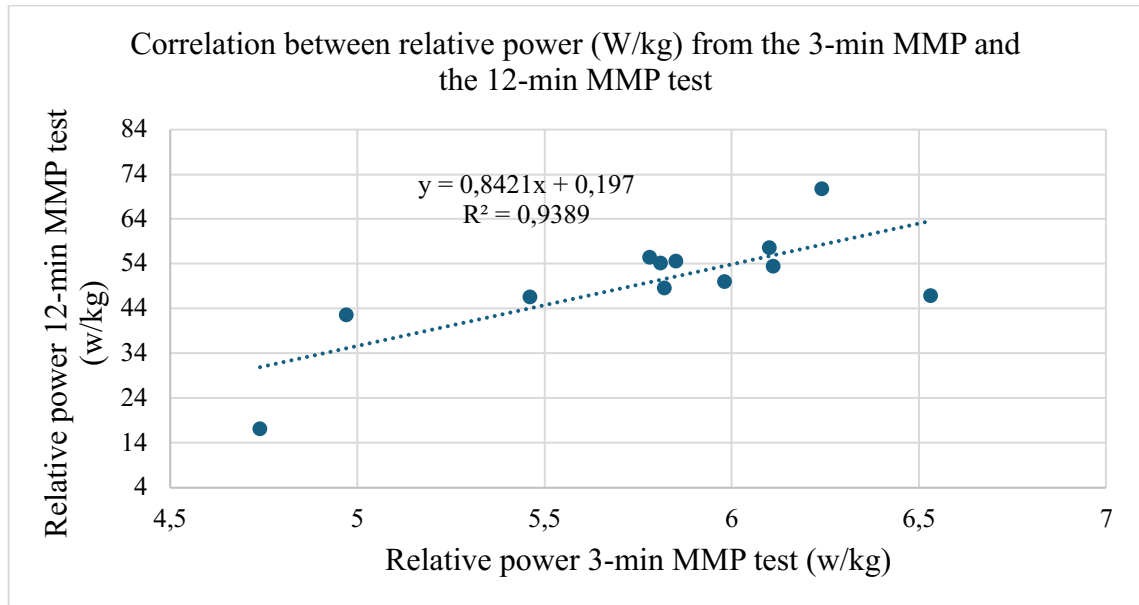


Figure 12: Correlation between relative power (W/kg) from the 3-min MMP and the 12-min MMP test

3.11. Relationship between maximal power and absolute power from the 3-min and 12-min MMP

The results highlight a very strong positive relationship between maximal absolute power measured during the incremental test and the absolute power obtained in the timed 3-minute and 12-minute tests (Figures 13 and 14, respectively). The high correlations observed for both tests confirm that they comparably reflect the ability to produce and sustain high power during prolonged efforts.

However, the 3-minute test shows a slightly higher predictive capacity. Its coefficient of determination ($R^2 = 0.9336$) is marginally higher than that observed for the 12-minute test

($R^2 = 0.914$), indicating that a short, maximal effort explains a slightly larger proportion of the variance in maximal absolute power.

Thus, although both tests serve as robust indicators of maximal power, the 3-minute test appears to be a slightly more precise predictor, possibly due to its brevity and specific physiological demands, while remaining closely associated with performance observed during the 12-minute test

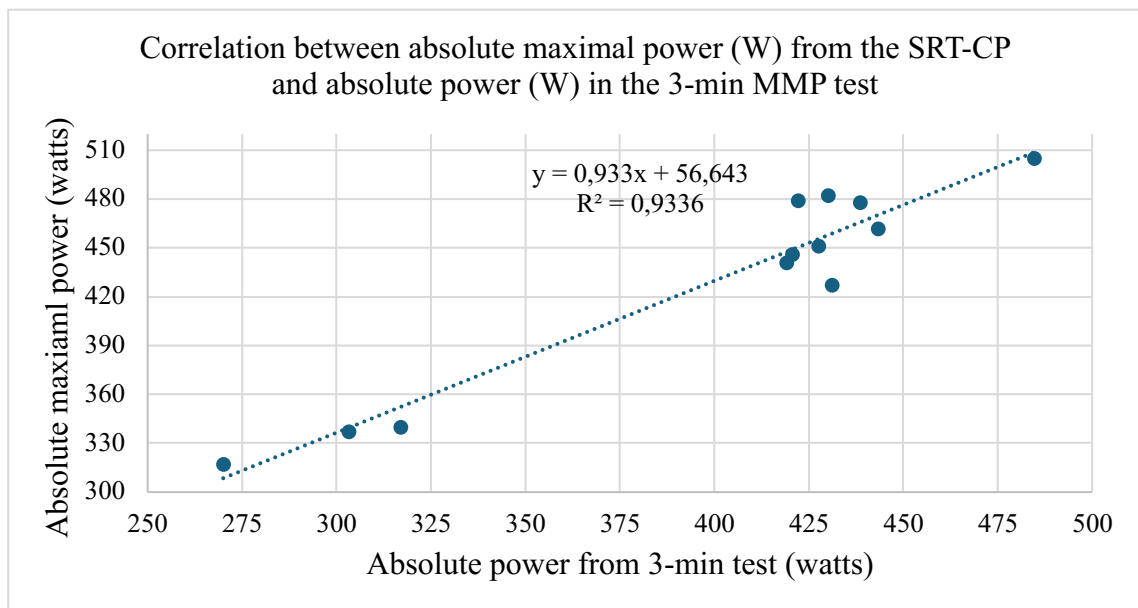


Figure 13: Correlation between absolute maximal power (W) from the SRT-CP and absolute power (W) in the 3-min MMP test

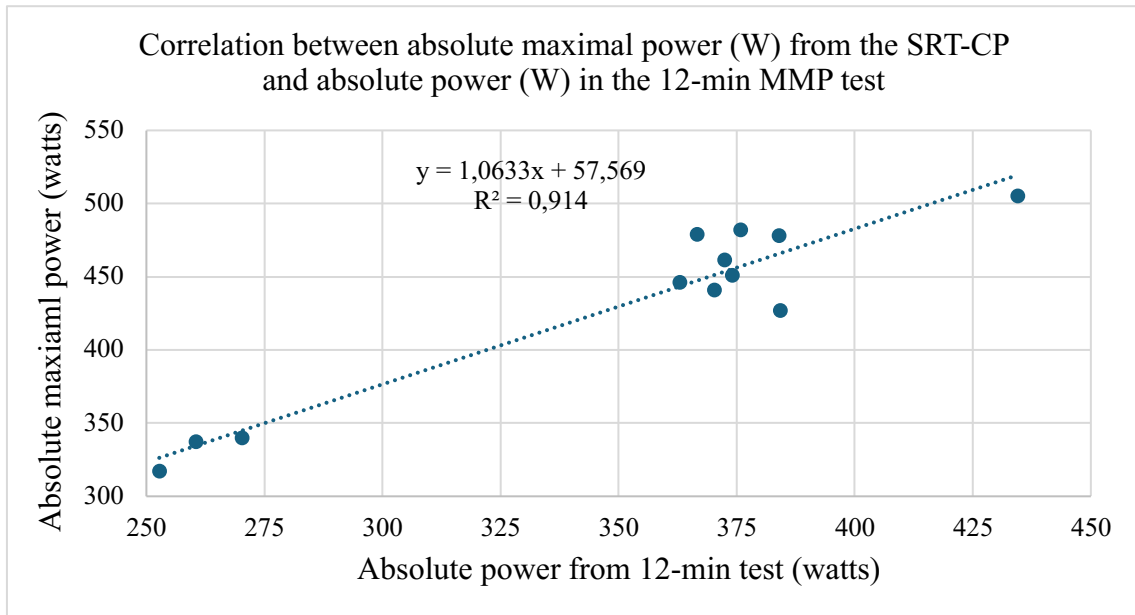


Figure 14: Correlation between absolute maximal power (W) from SRT-CP and absolute power (W) in the 12-min MMP test

3.12. Relationship between CP from two different equation

Figure 15 shows an extremely strong relationship between CP obtained from the SRT-CP, calculated using Morton's three-parameter equation, and CP obtained from the 3-minute and 12-minute MMP tests, calculated using Monod & Scherrer's two-parameter equation.

For reference, Morton's equation is:

$$PC_{3-hyp} \rightarrow t = (W'/PO - PC) + (W'/PC - P_{max}),$$

and Monod & Scherrer's equation is:

$$PC_{2-hyp} \rightarrow t = W'/(PO - PC).$$

The very high coefficient of determination ($R^2 = 0.9532$) indicates that more than 95.32% of the variance in CP obtained from the 3-minute and 12-minute MMP tests is explained by CP from the SRT-CP, demonstrating strong consistency between the two approaches.

The slope of the regression line (1.1296) suggests that CP calculated using Monod & Scherrer's two-parameter equation tends to be slightly higher than CP calculated using Morton's three-parameter equation for the same CP value. This slight offset may reflect methodological differences between the two models, particularly regarding the nature of the efforts used to feed the equations (maximal performance over a fixed duration versus mathematical adjustments derived from multiple power-time points).

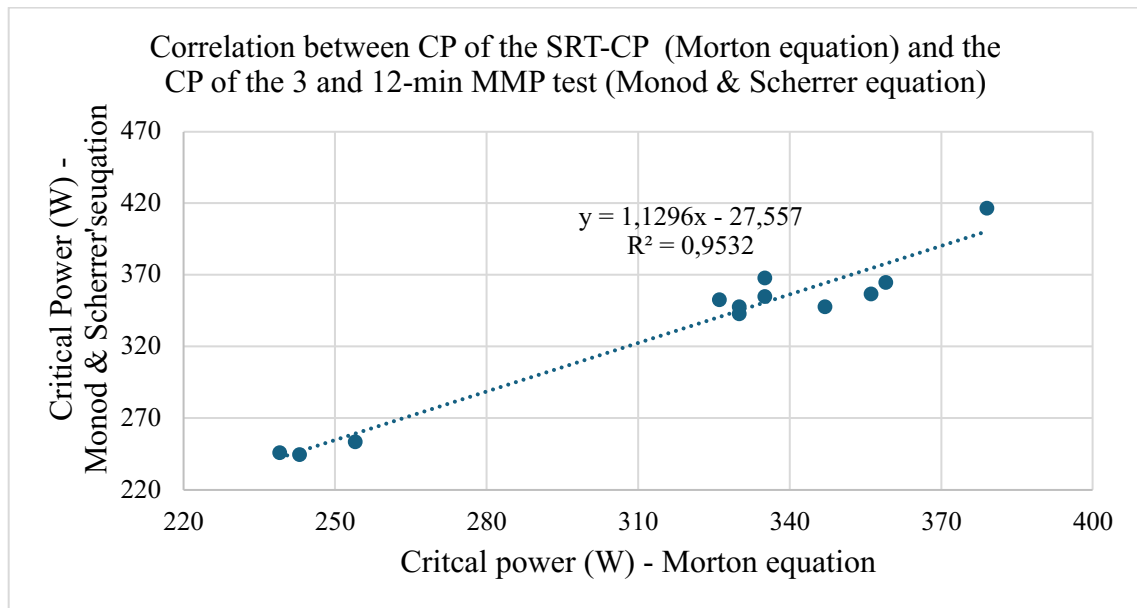


Figure 15: Correlation between CP Morton obtained from the test #1 and the CP Monod & Scherrer obtained from the test #2 and #3

4. Discussion

The results indicate that the SRT-CP provides consistent estimates of critical power (CP). The very strong correlation with the reference tests (3-min and 12-min MMP) and the high relationship with 5 km running speed confirm the validity of this protocol for predicting

running performance. Despite this strong correlation, Bland–Altman analysis revealed a lack of interchangeability between methods at the individual level. The wide limits of agreement (-40.0 to 12.5 W) indicate substantial inter-individual variability. From a practical perspective, this suggests that the SRT-CP protocol is well suited for longitudinal intra-individual monitoring but should be used with caution when comparing absolute values between individuals or across protocols. Moreover, as illustrated in Figure 15, Morton’s three-parameter equation alone, using data obtained from a single test, allows for a very accurate estimation of a runner’s CP. Overall, this very high correlation confirms that both methods provide highly similar and coherent CP estimates, representing a step in the right direction in line with the hypothesis of the present study.

In contrast, W' estimates showed high inter-individual variability and a weak correlation with the reference methods, indicating that this parameter remains more sensitive to physiological differences between participants. However, the analysis of Figure 11, illustrating the relationship between W' obtained during the SRT-CP and the duration of the final stage of the same test, revealed a coherent trend: participants able to sustain an effort above CP for longer generally have a higher anaerobic reserve. In practical terms, this relationship suggests that the W' obtained could still be valid.

In contrast to critical power, the estimation of W' derived from the SRT-CP protocol demonstrated poor agreement with the reference methods. However, this observation deserves to be nuanced. Indeed, the W' obtained in the present protocol shows a significant

relationship with the duration of effort sustained at an intensity between 104 and 108% of critical power ($R^2 = 0.73$), suggesting a stronger physiological relevance. In other words, this W' directly predicts an individual's ability to sustain high-intensity effort.

These results indicate that the W' derived from the SRT-CP may better reflect the actual capacity to tolerate supra-critical effort, by simultaneously integrating metabolic, neuromuscular, and perceptual contributions. In contrast, traditional methods rely on mathematical models derived from multiple continuous tests, involving time delays and additional sources of bias such as inter-test fatigue, which may not fully capture the continuous physiological dynamics of exercise.

Thus, although the W' obtained from the SRT-CP is not interchangeable with that derived from classical models, it may represent a more ecological and integrated measure of functional anaerobic capacity, particularly relevant in a performance context.

Furthermore, when W' is extrapolated to 105% of critical power, it shows a very strong linear relationship with the duration of the final SRT-CP stage, as shown in Figure 9. Despite these considerations, the results confirm that, although W' is more difficult to predict precisely, it provides meaningful physiological information on tolerance to high-intensity exercise and the capacity to sustain supra-critical efforts.

An important physiological confirmation is that the lactate concentration associated with the transition from a steady state to an unstable state is not universally $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. For example, in our study, it was measured at $3.0 \pm 0.7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. These results highlight the need to individualize this lactate threshold according to each participant's physiological response. This point emphasizes the relevance of a personalized approach to performance assessment and aligns with the work of Baldari and Guidetti (2000) and Seiler (2010), who recommend adapting training intensity to individual responses rather than relying on standardized absolute thresholds.

The use of relative power ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) likely reduced the influence of biological sex by accounting for differences in body mass, which may explain the absence of apparent sex-related differences in the relative power analyses. In contrast, greater differences between male and female participants would be expected when absolute power values (W) are considered.

From a practical perspective, the SRT-CP allows rapid collection of multiple data points at different intensities, including power, heart rate, and lactate concentration, providing a comprehensive performance profile while limiting the number of tests, as well as the fatigue associated with multiple maximal efforts and potential inter-test variability, as previously mentioned. Targeted interventions can then be applied to training to improve 5 km performance or performance over other distances, in addition to refining race

strategies according to terrain (e.g., flat versus hilly) and conditions (e.g., headwind or tailwind).

Moreover, the use of the Stryd power meter during the test enables analysis of additional parameters such as cadence, stride length, and vertical oscillation. This individualized analysis can help participants improve their running technique at different speeds, enhancing running efficiency at a given pace and thereby improving running economy, which directly impacts performance.

5. Limitations

This study presents some methodological limitations. First, the maximal speed, ranging from 23.33 to 24 km/h depending on the treadmills used in the laboratories, required adding a 7–13% incline to reach the maximal power outputs during the second phase of the SRT-CP. This constraint may have influenced the estimation of maximal power by altering the biomechanical demands of running, which could particularly affect runners with different biomechanics or stride patterns. Although the Stryd sensor has previously been tested at different inclines during running (Cognetti et al., 2025), the use of a treadmill capable of reaching speeds up to 30 km/h at 1% incline would likely have been more appropriate for calculating maximal power. However, using such a treadmill would reduce practicality, as these devices are not easily accessible.

Additionally, the absence of $\dot{V}O_{2\max}$ data does not allow for a definitive confirmation that all participants reached maximal effort, although several studies, including those by Carton-Llorente et al. (2021), García-Pinillos et al. (2019), and Ruiz-Alias et al. (2024), also did not use $\dot{V}O_{2\max}$ as a variable. It is important to note, however, that physiological measures were recorded in the present study, including heart rate and lactate concentrations before, during, and after the tests.

The management of training load in the week preceding the tests also represents a potential source of variability, as inter-individual differences in fatigue could affect performance. Despite instructions provided to standardize recovery, it remains difficult to fully control external factors such as sleep, stress, or work obligations, which could influence the physiological response to exercise.

Finally, the small sample size (12 participants) and its unbalanced composition (9 men and 3 women) limit the generalizability of the results as well as the statistical power of the analysis. As previously explained, to counterbalance this modest sample size, the homogeneity of the population—especially due to the high performance criteria required for participation—helped reduce inter-individual variability and increase the internal validity of the observations. Nevertheless, this homogeneity also limits the extrapolation of the results to populations with different physiological profiles, such as recreational runners.

6. Conclusion

Overall, the results confirm that the new single-session treadmill protocol provides reliable estimates of critical power (CP), supporting its validity as a practical and time-efficient alternative to traditional multi-test approaches.

In contrast, the estimation of W' proved to be more variable, reflecting certain limitations in its precision. Rather than reflecting a limitation of the protocol, these findings suggest that the SRT-CP may capture a more functional and ecologically relevant representation of W' . Moreover, W' may not be a stable variable across protocols, but rather highly dependent on the testing context.

From a practical perspective, this SRT-CP offers an effective method to determine critical power in a single test session, a key parameter for assessing endurance capacity and individualizing training, while also providing additional relevant data, such as maximal power and lactate measurements, which contribute to a more comprehensive understanding of training prescription and performance optimization.

Further studies are needed to optimize the estimation of W' and to validate this protocol in larger and more diverse populations, as well as in different training and performance contexts.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank all the participants who volunteered to participate in the study.

DISCLOSURE STATEMENT

No potential conflict of interest was reported by the author(s) and no funding was received for the study.

REFERENCES

- Baldari, C., & Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1798–1802.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00022>
- Billat, V. (2001). L’apport de la science dans l’entraînement sportif : l’exemple de la course de fond. *STAPS*, (1), 23–43.
<https://doi.org/10.3917/sta.054.0023>
- Bramble, D. M., & Lieberman, D. E. (2004). Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 432(7015), 345–352.
<https://doi.org/10.1038/nature03052>
- Cartón-Llorente, A., Roche-Seruendo, L. E., Jaén-Carrillo, D., Marcen-Cinca, N., & García-Pinillos, F. (2021). Absolute reliability and agreement between Stryd and RunScribe systems for the assessment of running power. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 235(3), 182–187.
<https://doi.org/10.1177/1754337120984644>
- Cerezuela-Espejo, V., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Conesa-Ros, E., Mora-Rodríguez, R., & Pallarés, J. G. (2021). Are we ready to measure running power? Repeatability and concurrent validity of five commercial technologies. *European Journal of Sport Science*, 21(3), 341–350.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1748117>

- Cognetti, F. G., Chaverri, D., Planas, A., Montraveta, J., Carrasco-Marginet, M., Puigarnau, S., ... & Iglesias, X. (2025). Mechanical running power and energy expenditure in uphill and downhill running. *Sports*, 13(9), 294.
<https://doi.org/10.3390/sports13090294>
- Dearing, C. G., & Paton, C. D. (2022). Is Stryd critical power a meaningful parameter for runners? *Biology of Sport*, 40(3), 657–664.
<https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.118025>
- García-Pinillos, F., Latorre-Román, P. Á., Roche-Seruendo, L. E., & García-Ramos, A. (2019). Prediction of power output at different running velocities through the two-point method with the Stryd™ power meter. *Gait & Posture*, 68, 238–243.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.11.037>
- Harriss, D. J., MacSween, A., & Atkinson, G. (2019). Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *International Journal of Sports Medicine*, 40(13), 813–817.
<https://doi.org/10.1055/a-1015-3123>
- Imbach, F., Candau, R., Chailan, R., & Perrey, S. (2020). Validity of the Stryd power meter in measuring running parameters at submaximal speeds. *Sports*, 8(7), 103.
<https://doi.org/10.3390/sports8070103>
- Maturana, F. M., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Passfield, L., & Murias, J. M. (2018). Critical power: how different protocols and models affect its determination. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(7), 742–747.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.015>
- Monod, H., & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329–338.
- Olaya-Cuartero, J., & Cejuela, R. (2020). Contextualisation of running power: a systematic review. *Journal of Physical Education and Sport*, 20, 2044–2051.
<https://doi.org/10.7752/jpes.2020.s3276>
- Ruiz-Alias, S. A., Nancupil-Andrade, A. A., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2023). Determining critical power and W' in running: Accuracy of different two-point models using the power metric. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*.
<https://doi.org/10.1177/17543371231200295>

- Ruiz-Alias, S. A., Ñancupil-Andrade, A. A., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2024). Running critical power and W' : Influence of the environment, timing and time trial order. *International Journal of Sports Medicine*, 45(04), 309–315.
<https://doi.org/10.1055/a-2201-7081>
- Rusko, H., Nummela, A., & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(2), 97–101.
<https://doi.org/10.1007/BF01427048>
- Schnitzler, C. (2008). Course de durée. La notion d'allure-cible pour construire des contenus en cycle terminal. *EPS: Revue Éducation Physique et Sport*, (333), 57–61.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.276>
- Skiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(8), 1526–1532.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182517a80>
- Taboga, P., Giovanelli, N., Spinazzè, E., Cuzzolin, F., Fedele, G., Zanuso, S., & Lazzer, S. (2022). Running power: lab based vs. portable devices measurements and its relationship with aerobic power. *European Journal of Sport Science*, 22(10), 1555–1568.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1966104>

DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent que le SRT-CP permet d'obtenir une estimation valide de la puissance critique (PC). La très forte corrélation observée avec les méthodes de référence (3-min et 12-min MMP), de même que sa relation élevée avec la performance sur 5 km, soutiennent la capacité du protocole à estimer la PC chez des coureurs entraînés. De plus, l'équation de Morton, appliquée aux paramètres obtenus lors d'un seul test, permet d'estimer avec précision la PC, ce qui appuie l'hypothèse de cette étude et suggère qu'un protocole unique pourrait remplacer plusieurs tests traditionnellement utilisés, tels que la méthode des tests de 3 et 12 minutes (Ruiz-Alias et al., 2025).

L'estimation du W' présente toutefois une plus grande variabilité et une faible corrélation avec les méthodes de référence. Cette observation doit néanmoins être nuancée, puisque le W' obtenu est fortement associé à la durée de maintien d'un effort supra-puissance critique ($R^2 = 0,73$), ce qui suggère qu'il reflète la capacité réelle d'un individu à soutenir un exercice de haute intensité. Contrairement aux méthodes classiques, qui reposent sur plusieurs tests distincts, le SRT-CP intègre dans un seul protocole les réponses métaboliques, neuromusculaires et perceptuelles de l'exercice. Ainsi, même si le W' obtenu n'est pas directement interchangeable avec celui dérivé des modèles traditionnels, il pourrait représenter une mesure plus fonctionnelle de la capacité anaérobie. L'extrapolation du W' à 105 % de la puissance critique constitue également une avenue intéressante afin d'améliorer son estimation. Des études supplémentaires seront toutefois

nécessaires afin de déterminer si cette approche permet d'améliorer la validité et la fiabilité de l'estimation du W' .

Les résultats soulignent également l'importance d'individualiser les seuils physiologiques. Dans cette étude, la concentration de lactate correspondant au passage d'un état stable à un état instable était de $3,0 \pm 0,7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, confirmant que ce seuil varie d'un individu à l'autre (Baldari & Guidetti, 2000). Cette valeur, inférieure à la concentration fixe de 4 mmol/L fréquemment utilisée dans certaines approches du seuil lactique, illustre l'importance d'individualiser les seuils physiologiques plutôt que d'appliquer systématiquement des valeurs absolues à l'ensemble des athlètes (Faude et al, 2009). Cette observation est en accord avec les recommandations de Baldari & Guidetti (2000) et de Seiler (2010), qui préconisent d'adapter les intensités d'entraînement aux réponses physiologiques individuelles plutôt qu'à des seuils absolus standardisés.

D'ailleurs, la variabilité interindividuelle observée dans la présente étude rappelle qu'une même concentration de lactate et/ou une même fréquence cardiaque et/ou une même puissance relative ne représente pas nécessairement la même contrainte physiologique d'un coureur à l'autre (Gordon et al, 2017). Cette individualisation est particulièrement importante dans la prescription et le suivi de l'entraînement. L'utilisation de zones d'intensité déterminées à partir de valeurs génériques ou de pourcentages fixes peut entraîner une sous-estimation ou une surestimation de la charge réellement imposée à l'athlète (Lacour et Candau 1990). Un coureur dont le SL2 se situe à une intensité plus élevée pourrait ainsi être entraîné à une intensité insuffisante si les zones sont établies à

partir de valeurs standards, alors qu'un autre pourrait être exposé à une intensité excessivement élevée pour l'objectif recherché. Il devient donc pertinent de prendre le temps de caractériser individuellement les différentes zones d'entraînement, et ce, indépendamment du niveau de l'athlète.

Cette considération devient encore plus importante chez les athlètes de haut niveau. À mesure que le niveau de performance augmente, les différences de capacité entre les athlètes peuvent devenir relativement faibles, alors que les adaptations recherchées à l'entraînement peuvent être très spécifiques. Dans ce contexte, une petite erreur dans l'identification d'une zone d'intensité peut représenter une différence importante dans la charge physiologique réellement imposée (Foster et al, 2017). L'individualisation des zones d'entraînement avec précision permet ainsi non seulement de mieux cibler le stimulus recherché, mais également d'éviter qu'un athlète réalise de façon répétée des séances trop exigeantes par rapport à ses capacités réelles (Foster et al, 2017).

Concrètement, le SRT-CP permet de recueillir, en une seule séance, des données de puissance, de fréquence cardiaque et de lactatémie, réduisant ainsi le nombre de tests, la fatigue associée à des efforts répétés et la variabilité inter-test. Les valeurs de PC et de W' peuvent être utilisées pour suivre l'évolution des capacités aérobies et anaérobies, orienter la prescription de l'entraînement et ajuster les stratégies de course. De plus, l'utilisation du capteur Stryd permet d'analyser des paramètres biomécaniques, tels que la cadence, la longueur de foulée et l'oscillation verticale, pouvant contribuer à optimiser la technique et l'économie de course. Dans cette perspective, le SRT-CP pourrait présenter un intérêt

pratique supplémentaire en permettant de recueillir plusieurs de ces informations au cours d'une seule séance. L'objectif ne serait alors pas uniquement d'obtenir une valeur de PC et du W', mais de disposer d'un portrait individualisé permettant de mieux situer les différentes intensités d'entraînement. Cette approche pourrait être pertinente tant chez les athlètes récréatifs qui souhaite progresser que chez les athlètes entraînés, mais son intérêt potentiel pourrait être particulièrement marqué dans les populations de haut niveau, où la précision de la prescription de l'intensité et la gestion de la charge d'entraînement peuvent avoir des conséquences importantes sur la performance (Foster et al, 2017). Au point où nous en sommes avec les avancées technologiques et scientifiques, il devient pertinent de tirer profit de ces outils afin de recueillir, au cours d'une même séance, un maximum d'informations permettant de mieux comprendre la réponse individuelle à l'exercice et d'orienter plus précisément la prescription de l'entraînement.

Limites

Certaines limites doivent toutefois être considérées. Premièrement, la vitesse maximale des tapis roulants utilisés nécessitait l'ajout d'une inclinaison afin d'atteindre les puissances recherchées, ce qui a pu influencer l'estimation de la puissance maximale. Bien que le capteur Stryd ait démontré sa validité à différentes inclinaisons (Cognetti et al., 2025), un tapis roulant permettant d'atteindre des vitesses plus élevées aurait probablement permis une estimation plus représentative. Deuxièmement, l'absence de mesures de $\dot{V}O_2\text{max}$ ne permet pas de confirmer que tous les participants ont atteint un

effort maximal. Toutefois, cette approche est cohérente avec plusieurs études antérieures (Carton-Llorente et al., 2021; García-Pinillos et al., 2019; Ruiz-Alias et al., 2024) et est partiellement compensée par les mesures de lactatémie réalisées avant, pendant et après les tests. Enfin, la taille restreinte de l'échantillon (12 participants), ainsi que la faible représentation des femmes, limitent la généralisation des résultats. En contrepartie, l'homogénéité des participants a permis de réduire la variabilité interindividuelle et de renforcer la validité interne des observations.

De plus, grâce à l'utilisation du capteur de puissance Stryd lors du test, une analyse des paramètres supplémentaires sera possible, comme la cadence, la longueur de foulée, l'oscillation verticale, etc. Cette analyse, individuelle à chacun, permettrait au participant d'améliorer sa technique de course à différentes vitesses courues. Cette amélioration permettrait d'être plus efficace à une vitesse courue et donc d'améliorer son économie de course, qui a un impact direct sur la performance.

Recommandations pratiques

Le SRT-CP représente un protocole relativement simple à reproduire chez les coureurs de différents niveaux, à condition de disposer du matériel nécessaire. Puisqu'il permet d'estimer la puissance critique (PC) à partir d'un seul test tout en recueillant simultanément des données de puissance, de fréquence cardiaque et de lactatémie, il constitue un outil intéressant pour individualiser les zones d'entraînement et assurer un suivi de la condition physique au cours d'une saison. L'un des principaux intérêts

pratiques du SRT-CP réside ainsi dans sa capacité à regrouper plusieurs indicateurs complémentaires au sein d'une même séance, permettant d'obtenir un portrait plus complet de l'athlète sans avoir recours à plusieurs séances d'évaluation distinctes. Au-delà de l'évaluation initiale, ce portrait pourrait être établi à différents moments de la saison afin de suivre l'évolution des capacités physiologiques de l'athlète et d'ajuster la prescription de l'entraînement en conséquence.

Une approche intéressante serait de réaliser le SRT-CP en début de saison afin d'établir un portrait initial des capacités de l'athlète, puis de répéter l'évaluation à mi-saison afin de quantifier leur évolution et d'ajuster, au besoin, les zones d'entraînement en fonction de données objectives plutôt que de se fier uniquement aux sensations rapportées par l'athlète. Afin de faciliter l'interprétation des changements observés, il serait toutefois important de reproduire autant que possible les mêmes conditions expérimentales lors des évaluations, notamment en ce qui concerne le tapis roulant, le moment de la journée et les conditions précédant le test. Cette standardisation permettrait de mieux attribuer les changements observés à une évolution des capacités physiologiques plutôt qu'à des variations dans les conditions de réalisation du test.

L'un des principaux enjeux de ce protocole demeure toutefois la nécessité de réaliser des prélèvements de lactate. Le test ne peut donc pas être effectué de façon entièrement autonome et requiert la présence d'une personne formée aux prises et à l'analyse de lactate, comme un entraîneur, un kinésologue ou un autre intervenant qualifié. De plus, l'accès à un tapis roulant est nécessaire afin de standardiser les conditions d'évaluation et

de contrôler précisément les vitesses et les transitions entre les différentes étapes du protocole. Ces exigences peuvent limiter l'utilisation du SRT-CP dans certains contextes, notamment auprès des coureurs récréatifs ou des clubs ne disposant pas de l'équipement requis.

Malgré ces contraintes, le SRT-CP demeure plus accessible que plusieurs protocoles traditionnels utilisés pour estimer la puissance critique, puisqu'il regroupe en une seule séance des évaluations qui nécessitent habituellement plusieurs tests répartis sur plusieurs jours. Cette approche permet de réduire le temps consacré à l'évaluation, la fatigue liée à la répétition d'efforts maximaux ainsi que la variabilité entre les séances.

Enfin, une avenue intéressante pour les travaux futurs serait le développement d'une version du SRT-CP réalisable sur piste extérieure. Une telle adaptation permettrait de conserver les principes du protocole tout en augmentant considérablement son accessibilité auprès des entraîneurs, des clubs de course et des coureurs ne disposant pas d'un laboratoire ou d'un tapis roulant. Elle pourrait également favoriser une évaluation dans un environnement plus représentatif des conditions habituelles d'entraînement et de compétition. Cette adaptation doit toutefois être envisagée avec prudence, puisque les travaux de Ruiz-Alias et al. (2024) ont montré que les résultats obtenus sur tapis roulant et sur piste extérieure ne sont pas nécessairement interchangeables. Des études supplémentaires seraient donc nécessaires afin de déterminer dans quelle mesure les différences liées au contexte d'évaluation influencent les estimations de la PC et du W' . Il serait néanmoins pertinent d'explorer la possibilité d'adapter le protocole aux conditions

extérieures, notamment en ajustant certains paramètres ou critères de détermination, plutôt que de transposer directement le protocole utilisé sur tapis roulant. Une telle approche pourrait éventuellement permettre de développer une version du SRT-CP adaptée à la piste tout en conservant sa capacité à fournir un portrait individualisé des réponses physiologiques et de la performance.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de valider un nouveau protocole d'effort unique sur tapis roulant (SRT-CP) permettant d'estimer la puissance critique (PC) et le W' chez des coureurs entraînés. Dans l'ensemble, les résultats confirment que ce protocole permet d'obtenir des estimations fiables de la puissance critique. Les fortes corrélations observées avec les méthodes de référence ainsi qu'avec la performance sur 5 km soutiennent sa validité et suggèrent qu'il constitue une alternative pratique et efficiente aux approches traditionnelles nécessitant plusieurs tests réalisés sur plusieurs jours.

En revanche, l'estimation du W' s'est révélée plus variable et moins concordante avec les modèles classiques. Cette observation ne semble toutefois pas refléter une limite du protocole, mais plutôt le fait que le W' obtenu par le SRT-CP représente une mesure plus fonctionnelle de la capacité à soutenir un effort supra-puissance critique. Les résultats suggèrent également que le W' pourrait ne pas être une variable parfaitement stable entre différents protocoles d'évaluation, mais plutôt une mesure influencée par le contexte physiologique et méthodologique dans lequel elle est déterminée.

Au-delà de l'estimation de la PC, le SRT-CP permet de recueillir, en une seule séance, plusieurs données physiologiques pertinentes, notamment la puissance maximale, la fréquence cardiaque et la lactatémie. Ces mesures offrent un portrait plus complet du profil physiologique du coureur et peuvent contribuer à une individualisation plus précise des zones d'entraînement ainsi qu'au suivi de l'évolution de la performance.

Cette étude démontre donc que le SRT-CP constitue une méthode prometteuse pour l'évaluation de la puissance critique chez les coureurs. Bien que des travaux supplémentaires soient nécessaires afin d'optimiser l'estimation du W' et de valider le protocole auprès de populations plus larges et diversifiées, ainsi que dans différents contextes d'entraînement et de performance, cette approche représente une avancée intéressante vers une évaluation physiologique plus accessible, intégrée et applicable tant en recherche qu'en pratique.

RÉFÉRENCES

- Allen, H., Coggan, A. R., & McGregor, S. (2019). *Training and racing with a power meter*. VeloPress.
- Baldari, C., & Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1798-1802.
- Berthoin, S., Blondel, N., Billat, V., & Gerbeaux, M. (2001). La vitesse à $\dot{V}O_2\text{max}$, signification et applications en course à pied. *STAPS*, (1), 45-61.
- Billat, V. (2001). L'apport de la science dans l'entraînement sportif: l'exemple de la course de fond. *STAPS*, (1), 23-43.
- Bramble, D. M., & Lieberman, D. E. (2004). Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 432(7015), 345-352.
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of Applied Physiology*, 76(6), 2253-2261.
- Chanez, G. (2023, 9 février). *Le capteur Next Gen testé de fond en comble*. Nakan. CH. <https://www.nakan.ch/wp/2023/02/09/le-capteur-stryd-next-gen-teste-de-fond-en-comble/>.
- Cartón-Llorente, A., García-Pinillos, F., Royo-Borrueal, J., Rubio-Peñotén, A., Jaén-Carrillo, D., & Roche-Seruendo, L. E. (2021). Estimating functional threshold power in endurance running from shorter time trials using a 6-axis inertial measurement sensor. *Sensors*, 21(2), 582.
- Cartón-Llorente, A., Roche-Seruendo, L. E., Jaén-Carrillo, D., Marcen-Cinca, N., & García-Pinillos, F. (2021). Absolute reliability and agreement between Stryd and RunScribe systems for the assessment of running power. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 235(3), 182-187.
- Cazorla, G., Petibois, C., Bosquet, L., & Léger, L. (2001). Lactate et exercice: mythes et réalités. *STAPS*, (1), 63-76.
- Cerezuela-Espejo, V., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Conesa-Ros, E., Mora-Rodríguez, R., & Pallarés, J. G. (2021). Are we ready to measure running

power? Repeatability and concurrent validity of five commercial technologies. *European Journal of Sport Science*, 21(3), 341-350.

Chidnok, W., Fulford, J., Bailey, S. J., DiMenna, F. J., Skiba, P. F., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013). Muscle metabolic determinants of exercise tolerance following exhaustion: relationship to the “critical power”. *Journal of Applied Physiology*, 115(2), 243-250.

Clark, I. E., Vanhatalo, A., Thompson, C., Joseph, C., Black, M. I., Blackwell, J. R., ... & Jones, A. M. (2019). Dynamics of the power-duration relationship during prolonged endurance exercise and influence of carbohydrate ingestion. *Journal of Applied Physiology*.

Cognetti, F., Chaverri, D., Planas, A., Montraveta, J., Carrasco-Marginet, M., Puigarnau, S., ... & Iglesias, X. (2025). Mechanical running power and energy expenditure in uphill and downhill running. *Sports*, 13(9), 294.

Dearing, C. G., & Paton, C. D. (2022). Is Stryd critical power a meaningful parameter for runners?. *Biology of Sport*, 40(3), 657-664.

Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they?. *Sports Medicine*, 39, 469-490.

Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A., & De Koning, J. J. (2017). Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-2.

García-Pinillos, F., Latorre-Román, P. Á., Roche-Seruendo, L. E., & García-Ramos, A. (2019). Prediction of power output at different running velocities through the two-point method with the Stryd™ power meter. *Gait & Posture*, 68, 238-243.

Gordon, D., Wightman, S., Basevitch, I., Johnstone, J., Espejo-Sanchez, C., Beckford, C., ... & Merzbach, V. (2017). Physiological and training characteristics of recreational marathon runners. *Journal of Sports Medicine*, 231-241.

Harriss, D. J., MacSween, A., & Atkinson, G. (2019). Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *International Journal of Sports Medicine*, 40(13), 813–817. <https://doi.org/10.1055/a-1015-3123>

Imbach, F., Candau, R., Chailan, R., & Perrey, S. (2020). Validity of the Stryd power meter in measuring running parameters at submaximal speeds. *Sports*, 8(7), 103.

Jaén-Carrillo, D., Ruiz-Alias, S. A., Olaya-Cuartero, J., & García-Pinillos, F. (2024). Stryd biomechanical parameters as indicators of running economy and

- performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 17543371231220760.
- Jeker, D. (21 mars, 2020). *Test de lactate pour courir au bon rythme*. Quantum Endurance. <https://www.quantumendurance.com/blog/test-de-lactate-pour-courir-au-bon-rythme>.
- Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., & Vanhatalo, A. (2019). The maximal metabolic steady state: redefining the ‘gold standard’. *Physiological Reports*, 7(10), e14098.
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical Power: Implications for Determination of $\dot{V}O_{2max}$ and Exercise Tolerance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1876–1890.
- Karsten, A. (2017). Relation between critical power and functional threshold power. *Journal of Science and Cycling*, 6(3).
- Kindermann, W., Simon, G., Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal Applied Physiology*, 42:25–34.
- Lacour, J. R., & Candau, R. (1990). Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. *Science & Sports*, 5(4), 183-189.
- Lacroix, E (2022). *L'analyse des seuils, représentation pragmatique d'un univers invisible?* Running mindset. <https://www.ericlacroix.com/post/l-analyse-des-seuils-representation-pragmatique-d-un-univers-invisible#:~:text=Selon%20Véronique%20Billat%20les%20années,notamment%20grâce%20au%20physiologiste%20Mader>.
- Le Cornec, A (2011). *Le seuil ou les seuils*. Lepage-info. <https://www.lepage-info.com/entrainement/entrainement-running/progresser/le-seuil-ou-les-seuils/>.
- Maturana, F. M., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Passfield, L., & Murias, J. M. (2018). Critical power: how different protocols and models affect its determination. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(7), 742-747.
- McLellan, T. M., & Cheung, K. S. (1992). A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 543-550.
- Mercier, D., & Léger, L. (1986). Prédiction de la performance en course à pied à partir de la puissance aérobie maximale. Effet de la distance, du sexe et de la spécialité. *STAPS*, 7(14), 15-28.

- Merrigan, J. J., Stovall, J. H., Stone, J. D., Stephenson, M., Finomore, V. S., & Hagen, J. A. (2023). Validation of Garmin and Polar devices for continuous heart rate monitoring during common training movements in tactical populations. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 27(3), 234-247.
- Monod, H., & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329-338.
- Morton, R. H. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 339-354.
- Olaya-Cuartero, J., & Cejuela, R. (2020). Contextualisation of running power: a systematic review. *Journal of Physical Education and Sport*, 20, 2044-2051.
- Olaya-Cuartero, J., Pueo, B., Villalon-Gasch, L., & Jiménez-Olmedo, J. M. (2023). Prediction of half-Marathon Power Target using the 9/3-Minute running critical power test. *Journal of Sports Science & Medicine*, 22(3), 526.
- Pinedo-Jauregi, A., Garcia-Tabar, I., Carrier, B., Navalta, J. W., & Cámara, J. (2022). Reliability and validity of the Stryd Power Meter during different walking conditions. *Gait & Posture*, 92, 277-283.
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2320.
- Poole, D. C., Rossiter, H. B., Brooks, G. A., and Gladden, L. B. (2021). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *Journal Physiology*. 599, 737–767. doi: 10.1113/JP279963.
- Ruiz-Alias, S. A., Ñancupil-Andrade, A. A., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2023). Determining critical power and W' in running: Accuracy of different two-point models using the power metric. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 17543371231200295.
- Ruiz-Alias, S. A., Ñancupil-Andrade, A. A., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2024). Running critical power and W' : Influence of the environment, timing and time trial order. *International Journal of Sports Medicine*, 45(04), 309-315.

- Rusko, H., Nummela, A., & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(2), 97-101.
- Schnitzler, C. (2008). Course de durée. La notion d'allure-cible pour construire des contenus en cycle terminal. *EPS: Revue Éducation Physique et Sport*, (333), 57-61.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291.
- Skiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(8), 1526-1532.
- Stryd. (2026). Accueil. <https://www.stryd.com/ca/fr>.
- Stryd. (2015, 18 octobre). *The world first wearable power meter for running*. Kickstarter. <https://www.kickstarter.com/projects/stryd/stryd-the-worlds-first-wearable-power-meter-for-ru>.
- Taboga, P., Giovanelli, N., Spinazzè, E., Cuzzolin, F., Fedele, G., Zanuso, S., & Lazzer, S. (2022). Running power: lab based vs. portable devices measurements and its relationship with aerobic power. *European Journal of Sport Science*, 22(10), 1555-1568.
- Valenzuela, P. L., Alejo, L. B., Montalvo-Pérez, A., Gil-Cabrera, J., Talavera, E., Lucia, A., & Barranco-Gil, D. (2021). Relationship between critical power and different lactate threshold markers in recreational cyclists. *Frontiers in Physiology*, 12, 676484.

ANNEXE A

Questionnaire Mener une vie plus active



Questionnaire Menez une vie plus active

SOCIÉTÉ CANADIENNE DE PHYSIOLOGIE DE L'EXERCICE –
LA SANTÉ PAR LA PRATIQUE D'ACTIVITÉ PHYSIQUE (SPAP-SCPE®)

L'activité physique améliore la santé physique et mentale. Même en petite quantité, l'activité physique fait du bien, et plus on en fait, mieux c'est.

Pour presque tout le monde, les bienfaits de l'activité physique surpassent largement les risques. Toutefois, pour certaines personnes, il est recommandé d'obtenir les conseils d'un professionnel de l'exercice qualifié (PEQ – détient un diplôme d'études postsecondaires en science de l'exercice et une certification avancée dans ce domaine – consultez scpe.ca/certifications) ou d'un professionnel de la santé. Ce questionnaire s'adresse aux personnes de tous âges et a pour objectif de les aider à cheminer vers un mode de vie plus actif.

- ☐ Je réponds à ce questionnaire pour moi-même.
- ☐ Je réponds à ce questionnaire pour mon enfant/une personne à charge en tant que parent/tuteur.

PRÉPAREZ-VOUS À MENER UNE VIE PLUS ACTIVE		
OUI	NON	
Les questions suivantes permettront de confirmer que vous pouvez pratiquer une activité physique en toute sécurité. Veuillez répondre OUI ou NON à chacune des questions <u>avant</u> de mener une vie plus active. Si vous ne savez pas exactement quoi répondre, choisissez OUI.		
1 Avez-vous vécu <u>N'IMPORTE LAQUELLE</u> des situations suivantes (A à F) au cours des six derniers mois?		
☐	☐	A Diagnostic ou traitement relativement à une maladie du cœur ou à un AVC, ou douleur/malaise/pression au niveau de la poitrine en pratiquant vos activités de la vie quotidienne ou une activité physique?
☐	☐	B Diagnostic ou traitement relativement à une hypertension artérielle ou à une tension artérielle au repos de 160/90 mm de Hg ou plus?
☐	☐	C Vertiges ou étourdissements durant l'activité physique?
☐	☐	D Essoufflement au repos?
☐	☐	E Perte de conscience/évanouissement pour quelque raison que ce soit?
☐	☐	F Commotion?
☐	☐	2 Présentez-vous actuellement de la douleur ou une enflure à n'importe quelle partie de votre corps (p. ex. blessure, poussée aiguë d'arthrite ou douleur au dos) qui nuit à votre capacité de mener une vie active?
☐	☐	3 Un professionnel de la santé vous a-t-il recommandé d'éviter ou de modifier certains types d'activité physique?
☐	☐	4 Avez-vous tout autre problème médical ou physique (p. ex. diabète, cancer, ostéoporose, asthme, lésion médullaire) qui pourrait nuire à votre capacité de mener une vie active?
NON à toutes les questions :> allez à la page 2 – ÉVALUEZ VOTRE NIVEAU D'ACTIVITÉ PHYSIQUE ACTUEL >.....		
OUI à au moins une question : allez au document de référence – CONSEILS SI VOUS AVEZ RÉPONDU OUI À AU MOINS UNE QUESTION >>>>		

ÉVALUEZ VOTRE NIVEAU D'ACTIVITÉ PHYSIQUE ACTUEL

Répondez aux questions suivantes pour évaluer votre niveau d'activité physique actuel.

- 1 Au cours d'une semaine typique, combien de jours pratiquez-vous une activité physique aérobie d'intensité moyenne à élevée (p. ex. marche rapide, cyclisme ou jogging)? JOURS/SEMAINE
 - 2 Les journées où vous faites de l'activité physique aérobie d'intensité au moins moyenne (par exemple marche rapide), pendant combien de minutes pratiquez-vous cette activité? MINUTES/JOUR
- Si vous êtes un adulte, multipliez le nombre moyen de jours par semaine par le nombre moyen de minutes par jour. MINUTES/SEMAINE

Les Directives canadiennes en matière de mouvement sur 24 heures recommandent la pratique d'au moins 150 minutes par semaine d'activité physique d'intensité moyenne à élevée chez les adultes. Pour les enfants et les jeunes, on recommande au moins 60 minutes par jour. Il est également recommandé de pratiquer des activités pour renforcer les muscles et les os au moins deux fois par semaine pour les adultes, et trois fois par semaine pour les enfants et les jeunes (voir scpe.ca/directives).



CONSEILS GÉNÉRAUX POUR MENER UNE VIE PLUS ACTIVE

Augmentez graduellement votre niveau d'activité physique afin que votre expérience demeure positive. Intégrez des activités physiques qui vous plaisent à votre journée (p. ex. marcher avec un ami ou une amie, se rendre au travail ou à l'école à vélo) et réduisez vos comportements sédentaires (p. ex. périodes prolongées passées en position assise).

Si vous voulez pratiquer une **activité physique d'intensité élevée** (p. ex. une activité physique à une intensité à laquelle il est difficile de maintenir une conversation) et que vous n'atteignez pas les recommandations minimales en matière d'activité physique mentionnées ci-dessus, consultez un professionnel de l'exercice qualifié (PEQ) avant de vous y mettre. Cela permettra de confirmer que votre activité physique est sécuritaire et convient à votre situation.

L'activité physique est aussi une partie importante d'une grossesse en santé.



Attendez avant de mener une vie plus active si vous ne vous sentez pas bien en raison d'une maladie temporaire.

DÉCLARATION

Au meilleur de mes connaissances, tous les renseignements que j'ai fournis dans ce questionnaire sont exacts. Si des changements surviennent à mon état de santé, je remplirai le questionnaire à nouveau.

J'ai répondu **NON** à toutes les questions de la page 1

J'ai répondu **OUI** à au moins une question de la page 1

Signez et datez la déclaration ci-dessous

Cochez la case ci-dessous qui s'applique à vous :

- ☐ J'ai consulté un professionnel de la santé ou un professionnel de l'exercice qualifié (PEQ) qui m'a recommandé de mener une vie plus active.
- ☐ Je suis à l'aise à l'idée de mener une vie plus active sans consulter un professionnel de la santé ou un PEQ.

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nom (en caractères d'imprimerie) + nom du parent/tuteur, le cas échéant		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Date	Courriel (optionnel)	Téléphone (optionnel)

Avec de la planification et du soutien, vous pouvez profiter des bienfaits d'une vie plus active. Un PEQ peut vous aider.

- ☐ Cochez cette case si vous souhaitez consulter un PEQ afin de mener une vie plus active. (Vos réponses à ce questionnaire aideront le PEQ à apprendre à vous connaître et à comprendre vos besoins.)

ANNEXE B

Questionnaire à l'aptitude à l'activité physique pour tous

2023 Q-AAP+

Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique pour tous

Une pratique habituelle d'activité physique entraîne des avantages indéniables; la majorité des gens devrait être physiquement actif chaque jour de la semaine. La PLUPART des gens peuvent faire de l'activité physique en toute sécurité. Ce questionnaire vous permettra de savoir s'il est nécessaire de demander l'avis de votre médecin OU d'un spécialiste de l'activité physique avant de devenir plus physiquement actif.

QUESTIONS DE SANTÉ GÉNÉRALES

Lisez attentivement les sept questions ci-dessous et répondez honnêtement à chacune d'elle en cochant OUI ou NON.	OUI	NON
1) Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous étiez atteint d'un problème cardiaque ☐ OU d'hypertension ☐ ?	☐	☐
2) Ressentez-vous de la douleur à la poitrine au repos ou au cours de vos activités quotidiennes, OU lorsque vous faites de l'activité physique?	☐	☐
3) Éprouvez-vous des pertes d'équilibre liées à des étourdissements OU avez-vous perdu connaissance au cours des 12 derniers mois? Répondez non si vos étourdissements étaient liés à de l'hyperventilation (y compris pendant un exercice physique intense).	☐	☐
4) Avez-vous déjà été diagnostiqué d'une autre maladie chronique (autre qu'une maladie cardiaque ou d'hypertension)? ÉNUMÉREZ VOS TROUBLES MÉDICAUX ICI:	☐	☐
5) Prenez-vous présentement des médicaments prescrits pour une maladie chronique? ÉNUMÉREZ VOS TROUBLES MÉDICAUX ET MÉDICAMENTS ICI:	☐	☐
6) Avez-vous présentement (ou eu dans les 12 derniers mois) des problèmes osseux, articulaires, ou de tissus mous (muscle, ligament, ou tendon) qui pourraient être aggravés par une augmentation d'activité physique? Répondez non si vous avez déjà eu un problème dans le passé, mais qui ne limite pas votre pratique d'activité physique présente . ÉNUMÉREZ VOS TROUBLES MÉDICAUX ICI:	☐	☐
7) Votre médecin, vous a-t-il déjà dit que vous ne devriez pas faire d'activité physique sans supervision médicale?	☐	☐

 **Si vous avez répondu NON à toutes les questions ci-dessus, vous êtes apte à pratiquer de l'activité physique.**

Veuillez signer la DÉCLARATION DU PARTICIPANT. Vous n'avez pas à remplir les pages 2 et 3.

Commencez à être plus physiquement actif – Commencez lentement et augmentez l'intensité progressivement.

 Suivez les recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé pour votre âge (<https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>).

 Vous pouvez participer à une évaluation de votre état de santé et de votre condition physique.

 Si vous êtes âgé de plus de 45 ans et n'êtes PAS habitué à pratiquer de façon régulière une activité physique vigoureuse ou pouvant exiger un effort maximal, consultez un spécialiste de l'activité physique avant de vous mettre à la pratique d'une telle activité.

 Si vous avez d'autres questions, contactez un spécialiste de l'activité physique.

DÉCLARATION DU PARTICIPANT

Si vous n'avez pas l'âge légal requis pour le consentement ou si vous avez besoin de la permission de votre fournisseur de soins, votre parent, votre tuteur ou votre fournisseur de soins, ces derniers doivent aussi signer le présent document. En signant ci-dessous, j'affirme avoir lu, compris à mon entière satisfaction et rempli ce questionnaire. Je reconnais que la présente autorisation me permettant de faire de l'activité physique est valide pour une période de douze mois à compter de la date à laquelle elle est remplie et qu'elle devient invalide si mon état de santé change. Je reconnais aussi qu'un centre communautaire ou de conditionnement physique peut conserver une copie de ce questionnaire pour ses dossiers. Dans ces cas, il maintiendra la confidentialité de la même, en conformité avec la loi applicable.

NOM DATE
SIGNATURE TÉMOIN
SIGNATURE DU PARENT/TUTEUR/FOURNISSEUR DE SOINS

 **Si vous avez répondu OUI à au moins une des questions ci-dessus, REMPLISSEZ LES PAGES 2 ET 3.**

Attendez pour devenir plus actif si:

 Vous ne vous sentez pas bien à cause d'un rhume ou d'une fièvre – Attendez de vous sentir mieux.

 Vous êtes enceinte – Parlez à votre fournisseur de soins, à votre médecin ou à un spécialiste de l'activité physique, ou remplissez le questionnaire eX-AAP+ à www.sportsmeds.com avant de devenir plus physiquement active.

 Votre état de santé change – Répondez aux questions des pages 2 et 3 de ce document ou parlez à votre médecin ou à un spécialiste de l'activité physique avant de poursuivre votre programme d'activité physique.

2023 Q-AAP+

QUESTIONS DE SUIVI DE VOTRE ÉTAT DE SANTÉ

1. Souffrez-vous d'arthrite, d'ostéoporose ou de problèmes de dos?

Si oui, répondez aux questions 1a à 1c.

Si **non** ☐ passez à la question 2.

- 1a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐
- 1b. Souffrez-vous de problèmes articulaires causant de la douleur, d'une récente fracture ou d'une fracture causée par l'ostéoporose ou le cancer, d'un déplacement de vertèbres (p. ex. spondylolisthèse) ou de spondylolyse (fissure dans l'arc osseux à l'arrière de la colonne vertébrale)? OUI ☐ NON ☐
- 1c. Avez-vous reçu des injections de stéroïdes ou pris des comprimés de stéroïdes pendant plus de 3 mois? OUI ☐ NON ☐

2. Avez-vous actuellement le cancer?

Si oui, répondez aux questions 2a et 2b.

Si **non** ☐ passez à la question 3.

- 2a. Votre diagnostic de cancer comprend-il l'un des types suivants : cancer du poumon ou bronchique, myélome multiple (cancer des plasmocytes), de la tête ou du cou? OUI ☐ NON ☐
- 2b. Suivez-vous présentement un traitement contre le cancer (comme la chimiothérapie ou la radiothérapie)? OUI ☐ NON ☐

3. Êtes-vous atteint d'une maladie cardiaque ou cardiovasculaire? *la comprend la maladie coronarienne, l'insuffisance cardiaque et l'arythmie cardiaque.*

Si oui, répondez aux questions 3a à 3d.

Si **non** ☐ passez à la question 4.

- 3a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐
- 3b. Avez-vous un battement de cœur irrégulier qui nécessite la surveillance d'un médecin (si vous êtes atteint, par exemple, de fibrillations auriculaires ou de contractions ventriculaires prématurées)? OUI ☐ NON ☐
- 3c. Souffrez-vous d'une insuffisance cardiaque chronique? OUI ☐ NON ☐
- 3d. Avez-vous reçu un diagnostic de maladie coronarienne (cardiovasculaire) et n'avez pas fait d'activité physique régulièrement au cours des deux derniers mois? OUI ☐ NON ☐

4. Faites-vous de l'hypertension artérielle?

Si oui, répondez aux questions 4a et 4b.

Si **non** ☐ passez à la question 5.

- 4a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐
- 4b. Votre pression sanguine au repos, avec ou sans médicaments, est-elle égale ou supérieure à 160/90 mmHg? (Répondez **oui** si vous ignorez quelle est votre pression sanguine au repos.) OUI ☐ NON ☐

5. Êtes-vous atteint d'un trouble métabolique? *Ceci inclut le diabète de type I, le diabète de type II ou le prédiabète.*

Si oui, répondez aux questions 5a à 5e.

Si **non** ☐ passez à la question 6.

- 5a. Avez-vous souvent de la difficulté à contrôler votre taux de sucre dans le sang avec des aliments, des médicaments ou d'autres traitements médicaux prescrits? OUI ☐ NON ☐
- 5b. Souffrez-vous souvent de signes et symptômes de bas niveau de sucre sanguin (hypoglycémie) après l'exercice et / ou pendant les activités de la vie quotidienne? Les signes d'hypoglycémie peuvent inclure des tremblements, de la nervosité, de l'irritabilité inhabituelle, de la transpiration anormale, des étourdissements, de la confusion mentale, de la difficulté à parler, de la faiblesse, ou de la somnolence. OUI ☐ NON ☐
- 5c. Présentez-vous des signes ou des symptômes de complications liées au diabète, comme une maladie cardiaque ou vasculaire ou des problèmes affectant les yeux, les reins **OU** la sensation de vos orteils et de vos pieds? OUI ☐ NON ☐
- 5d. Êtes-vous atteint d'un autre trouble métabolique, comme le diabète gestationnel, une maladie rénale chronique ou des troubles hépatiques? OUI ☐ NON ☐
- 5e. Anticipez-vous de participer dans une activité physique, qui est pour vous, d'intensité anormalement plus élevée (ou vigoureuse) que d'habitude dans un avenir proche? OUI ☐ NON ☐

2023 Q-AAP+

6. Avez-vous des problèmes de santé mentale ou des difficultés d'apprentissage? *Ces problèmes comprennent la maladie d'Alzheimer, la démence, la dépression, les troubles anxieux, les troubles alimentaires, les troubles psychotiques, la déficience intellectuelle et le syndrome de Down.*

Si oui, répondez aux questions 6a et 6b.

Si **non** ☐ passez à la question 7.

6a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐

6b. Souffrez-vous **AUSSI** de problèmes de dos affectant vos nerfs ou vos muscles? OUI ☐ NON ☐

7. Souffrez-vous de problèmes respiratoires? *Ces problèmes comprennent la maladie pulmonaire obstructive chronique, l'asthme et l'hypertension artérielle pulmonaire.*

Si oui, répondez aux questions 7a à 7d.

Si **non** ☐ passez à la question 8.

7a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐

7b. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que le niveau d'oxygène de votre sang est bas quand vous êtes au repos ou que vous faites de l'exercice, ou que vous avez besoin d'une oxygénothérapie? OUI ☐ NON ☐

7c. Si vous êtes asthmatique, ressentez-vous présentement des symptômes de serrement de la poitrine, de respiration sifflante, de respiration laborieuse ou de toux persistante (plus de 2 jours par semaine), ou avez-vous utilisé votre médicament de secours plus de 2 fois la semaine dernière? OUI ☐ NON ☐

7d. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous faisiez de l'hypertension dans les vaisseaux sanguins de vos poumons? OUI ☐ NON ☐

8. Avez-vous une lésion de la moelle épinière? *Cela peut comprendre une tétraplégie ou une paraplégie.*

Si oui, répondez aux questions 8a à 8c.

Si **non** ☐ passez à la question 9.

8a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐

8b. Avez-vous souvent, au repos, une tension artérielle assez faible pour causer des étourdissements, le vertige ou une syncope? OUI ☐ NON ☐

8c. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous présentiez des accès soudains d'hypertension artérielle (connus sous le nom de dysrétexie autonome)? OUI ☐ NON ☐

9. Avez-vous eu un accident vasculaire cérébral? *Cela inclut un accident ischémique transitoire.*

Si oui, répondez aux questions 9a à 9c.

Si **non** ☐ passez à la question 10.

9a. Avez-vous de la difficulté à contrôler votre condition à l'aide de médicaments ou d'autres traitements prescrits par un médecin? (Répondez **non** si présentement vous ne prenez pas de médicaments et ne suivez pas d'autres traitements.) OUI ☐ NON ☐

9b. Avez-vous de la difficulté à marcher ou à vous déplacer? OUI ☐ NON ☐

9c. Avez-vous eu un accident vasculaire cérébral ou une défaillance nerveuse ou musculaire au cours des 6 derniers mois? OUI ☐ NON ☐

10. Êtes-vous atteint d'un trouble médical non mentionné ci-dessus ou d'au moins deux troubles médicaux?

Si oui, répondez aux questions 10a à 10c.

Si **non** ☐ lisez les recommandations de la page 4.

10a. Vous êtes-vous évanoui, avez-vous fait une syncope ou avez-vous perdu connaissance par suite d'une blessure à la tête au cours des 12 derniers mois, **OU** vous a-t-on diagnostiqué d'une commotion cérébrale au cours des 12 derniers mois? OUI ☐ NON ☐

10b. Êtes-vous atteint d'un trouble médical qui n'est pas mentionné ci-dessus (comme l'épilepsie, des troubles neurologiques ou des problèmes de reins)? OUI ☐ NON ☐

10c. Êtes-vous atteint de deux, ou plus que deux, troubles médicaux? OUI ☐ NON ☐

ÉNUMÉREZ VOS TROUBLES MÉDICAUX ET
TOUS MÉDICAMENTS LIÉS ICI:

**ALLEZ à la page 4 pour connaître les recommandations concernant
votre état de santé actuel et signer la DÉCLARATION DU PARTICIPANT.**

2023 Q-AAP+



Si vous avez répondu NON à toutes les questions de suivi concernant votre état de santé, vous êtes prêt à devenir plus physiquement actif. Signez la DÉCLARATION DU PARTICIPANT ci-dessous:



Consultez un spécialiste de l'activité physique pour vous aider à établir un plan d'activité physique sécuritaire et efficace pour répondre à vos besoins en matière de santé.



Commencez lentement et augmentez l'intensité progressivement - 20 à 60 minutes d'activité physique d'intensité faible à modérée, 3 à 5 jours par semaine, qui incluent des exercices d'aérobic et des exercices qui renforcent les muscles.



Vos progrès devraient vous amener à accumuler au moins 150 minutes d'activité physique d'intensité modérée par semaine.



Si vous êtes âgé de plus de 45 ans et n'êtes PAS habitué à pratiquer de façon régulière une activité physique vigoureuse ou pouvant exiger un effort maximal, consultez un spécialiste de l'activité physique avant de vous mettre à la pratique d'une telle activité.



Si vous avez répondu OUI au moins une des questions de suivi concernant votre état de santé:

Renseignez-vous d'avantage avant de devenir plus physiquement actif ou de procéder à une évaluation de votre condition physique. Remplissez le questionnaire en ligne eX-AAP+ et suivez les recommandations formulées à www.aparmedx.com et/ou voyez un spécialiste de l'activité physique pour vous aider à remplir ce questionnaire et obtenir plus de renseignements.



Attendez pour devenir plus actif si:



Vous ne vous sentez pas bien à cause d'un rhume ou d'une fièvre – Attendez de vous sentir mieux.



Vous êtes enceinte – Parlez à votre pourvoyeur de soins de santé, à votre médecin ou à un spécialiste de l'activité physique, ou remplissez le questionnaire eX-AAP+, à www.aparmedx.com avant de devenir plus actif physiquement.



Votre état de santé change – Parlez à votre médecin ou à un spécialiste de l'activité physique avant de poursuivre votre programme d'activité physique.

- Nous vous encourageons à photocopier le Q-AAP+. Vous devez utiliser le questionnaire au complet, et AUCUNE modification n'est permise.
- Les auteurs, la Collaboration Q-AAP+, les organisations partenaires et leurs agents n'assument aucune responsabilité envers les personnes qui se mettent à la pratique d'activité physique et/ou qui utilisent les questionnaires Q-AAP+ et eX-AAP+. En cas de doute après avoir rempli le questionnaire, consultez votre médecin avant de faire de l'activité physique.

DÉCLARATION DU PARTICIPANT

- Veuillez lire la déclaration ci-dessous et la signer.

- Si vous n'avez pas l'âge légal requis pour le consentement ou si vous avez besoin de la permission de votre fournisseur de soins, votre parent, votre tuteur ou votre fournisseur de soins, ces derniers doivent aussi signer le présent document. En signant ci-dessous, j'affirme avoir lu, compris à mon entière satisfaction et rempli ce questionnaire. Je reconnais que la présente autorisation me permettant de faire de l'activité physique est valide pour une période de douze mois à compter de la date à laquelle elle est remplie et qu'elle devient invalide si mon état de santé change. Je reconnais aussi qu'un centre communautaire ou de conditionnement physique peut conserver une copie de ce questionnaire pour ses dossiers. Dans ces cas, il maintiendra la confidentialité de la même, en conformité avec la loi applicable.

NOM

DATE

SIGNATURE

TEMOIN

SIGNATURE DU PARENT/TUTEUR/FOURNISSEUR DE SOINS

Pour en savoir plus, veuillez contacter:

www.aparmedx.com
Courriel: aparmedx@gmail.com

Citation pour le Q-AAP+:
D.E.S. Webster, V.K. Jernik, S.D. Brackley et N. Gladhill au nom de la Collaboration Q-AAP+ « The Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+) et Electronic Physical Activity Readiness Medical Examination (ePAR-Q+) », The Health & Fitness Journal of Canada, vol. 4, n° 2, p. 3-25, 2011.

Références

1. Jernik V, Webster DS, Makiello J, McKenzie DC, Shepherd RJ, Stone J, and Gladhill N. Enhancing the effectiveness of clearance for physical activity participants: background and overall process. *APM 34*(5):51-57, 2011.
2. Webster DS, Gladhill N, Jernik V, Brackley SD, McKenzie DC, Stone J, Christensen C, and Shepherd RJ. Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance. *Consensus Document APM 38*(5):528-536, 2011.
3. Chabot DM, Collin M, Kulk L, Davenport W, and Gubert N. Physical activity readiness. *British Columbia Medical Journal* 107(5):727-729.
4. Thomas S, Reading L, and Shepherd RJ. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences* 30(2):74-77, 2015.

Le Q-AAP+ a été créé en utilisant le processus de données probantes AGREE (1) par la Collaboration Q-AAP+ présidée par le Dr Damien E. R. Webster avec les Drs Norman Gladhill, Veronica Jernik et Donald C. McKenzie (2). La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Agence de santé publique du Canada et du ministère des Services de santé de la Colombie-Britannique. Les opinions exprimées dans ce document ne sont pas nécessairement celles de l'Agence de santé publique du Canada et du ministère des Services de santé de la Colombie-Britannique. La traduction de ce document a été rendue possible avec l'aimable autorisation des Forces armées canadiennes.

Copyright © 2023 Q-AAP+ Collaboration 4 / 4

01-11-2022

ANNEXE C



4760

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : Validation d'un protocole sur tapis roulant pour déterminer la PC et le W' avec l'utilisation d'un capteur de puissance

Chercheur(s) : Olivier Gélinas
Département des sciences de l'activité physique

Organisme(s) : Aucun financement

N° DU CERTIFICAT CER-24-312-07.12

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 23 septembre 2024 au 23 septembre 2025

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Me Richard LeBlanc
Président du comité

Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 23 septembre 2024

ANNEXE D

Modification certificat éthique



Le 8 mai 2025

Monsieur Olivier Gélinas
Étudiant
Département des sciences de l'activité physique

Monsieur,

Le secrétariat de l'éthique a reçu votre demande de modifications pour le projet **Validation d'un protocole sur tapis roulant pour déterminer la PC et le W' avec l'utilisation d'un capteur de puissance (CER-24-312-07.12)** en date du 6 mai 2025.

Lors d'un processus d'évaluation déléguée, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a approuvé les modifications consistant à préciser qu'il y aura un recrutement et une collecte de données à l'UQAC. Puis, préciser en conséquence le lieu d'expérimentation dans le formulaire d'informations et de consentement (FIC) et dans toutes documentations pertinentes, incluant les outils de recrutement.

Cette décision porte le numéro CER-25-321-08-01.09.

Veuillez agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

LE SECRÉTAIRE DU COMITÉ

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Anthony Voisard". The signature is fluid and cursive, with the first name "Anthony" being more prominent than the last name "Voisard".

ANTHONY VOISARD, PH. D.
Conseiller à l'éthique et l'intégrité scientifique
Décanat de la recherche et de la création

AV/ra

c. c. M. Claude Lajoie et M. François Trudeau, professeurs au Département des sciences de l'activité physique