

Contraintes physiologiques du biathlon

Samuel VERGES, PhD

Hypoxia Physiopathology Laboratory (HP2), U1042
Grenoble Alpes University & INSERM, Grenoble, France



Introduction

Spécificités associées au ski de fond:

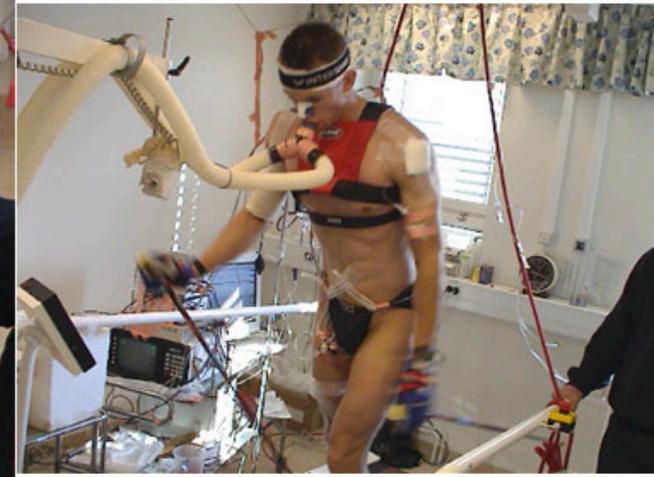
- Epreuves d'endurance: effort prolongé, terrain accidenté (50% du temps de course en côtes)
- Sollicitations simultanées de la musculature du haut et du bas du corps
- Environnement froid / hypoxique

Spécificités supplémentaires au biathlon:

- Effort intermittent (2-4 arrêts <1 min)
- Technique libre (pas de patineur) uniquement (années 80)
- Port de la carabine (poids minimum 3,5 kg)
- Gestion de l'épreuve de tir



Le skieur de fond



Scand J Med Sci Sports 2015; 25 (Suppl. 4): 100–109
doi: 10.1111/sms.12601

© 2015 John Wiley & Sons A/S.
Published by John Wiley & Sons Ltd

SCANDINAVIAN JOURNAL OF
MEDICINE & SCIENCE
IN SPORTS

Review

The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology

H.-C. Holmberg^{1,2}

¹Swedish Winter Sports Research Centre, Department of Health Sciences, Mid Sweden University, Östersund, Sweden, ²Swedish Olympic Committee, Stockholm, Sweden

Corresponding author: H.-C. Holmberg, Swedish Winter Sports Research Centre, Mid Sweden University, 832 125 Östersund, Sweden. Tel: +46 70 40458960, Fax: +46 10 1428004, E-mail: hc.holmberg@miun.se

Le skieur de fond

Spécificités associées au ski de fond:

- Volumes et débits pulmonaires 5–20% plus élevés que le sédentaire (Holmberg et al., 2007) => Sélection probablement
- Prévalence importante d'hypoxémie induite à l'exercice (50% des athlètes d'endurance de haut niveau au niveau de la mer) (Nielsen et al., 1999) => Phénomène accru en altitude modérée
- VO_2 max parmi les plus élevées, peu d'athlètes masculins ont été médaillés avec une VO_2 max < 6 L/min ou ~ 80-90 mL/kg/min ; les athlètes féminines ont des VO_2 max ~10% plus basses, pouvant atteindre ~75 mL/kg/min



VO₂max du skieur nordique

Equipes nationales norvégiennes, avec/sans médailles (1990-2013)

Category	n	Age (y)	Body mass (kg)	Body height (cm)	Abs VO ₂ max (L/min)	Rel VO ₂ max (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)
XC distance men medals	17	28 ± 4	76 ± 6	182 ± 6	6.42 ± 0.64	84.3 ± 5.2 ^C
XC distance men nonmedals	8	26 ± 3	77 ± 4	182 ± 4	6.31 ± 0.31	82.0 ± 2.2
XC sprint men medals	7	26 ± 4	81 ± 6 ^A	182 ± 6	6.27 ± 0.55	77.9 ± 2.9
XC sprint men nonmedals	6	30 ± 4	81 ± 7 ^A	186 ± 5	6.34 ± 0.49	78.5 ± 3.6
Biathlon men medals	8	27 ± 4	76 ± 7	182 ± 6	6.17 ± 0.57	81.1 ± 3.3
Biathlon men nonmedals	7	27 ± 3	79 ± 6	182 ± 5	6.17 ± 0.46	78.5 ± 4.5
NC men medals	7	25 ± 3	68 ± 4 ^A	178 ± 4	5.29 ± 0.39 ^B	77.5 ± 2.9
NC men nonmedals	12	25 ± 2	72 ± 4	182 ± 4	5.27 ± 0.36 ^B	73.5 ± 2.9 ^C
XC women medals	10	28 ± 5	59 ± 5	169 ± 4	4.27 ± 0.30	72.6 ± 5.1
XC women nonmedals	12	25 ± 4	60 ± 6	170 ± 5	4.16 ± 0.37	69.4 ± 2.7
XC sprint women medals	5	29 ± 8	62 ± 5	168 ± 5	4.28 ± 0.41	68.6 ± 3.7
XC sprint women nonmedals	8	25 ± 4	61 ± 3	169 ± 4	4.18 ± 0.36	68.6 ± 4.1
Biathlon women medals	7	25 ± 2	61 ± 4	173 ± 3	3.99 ± 0.21	65.9 ± 4.9
Biathlon women nonmedals	11	24 ± 3	64 ± 5	171 ± 5	3.96 ± 0.39	62.0 ± 3.1 ^D

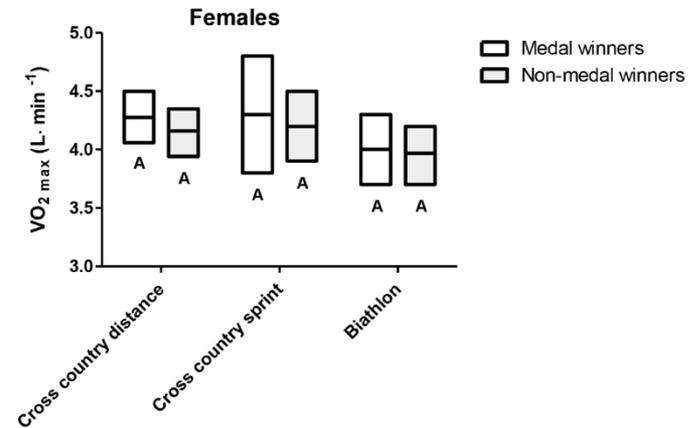
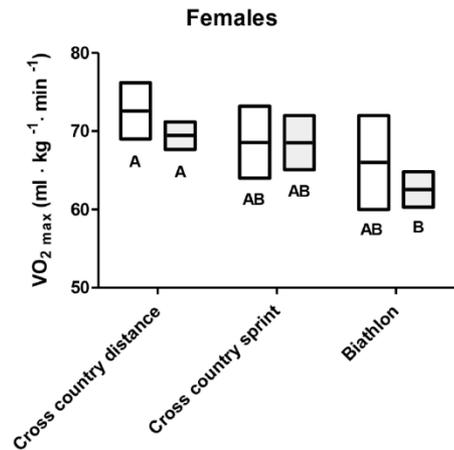
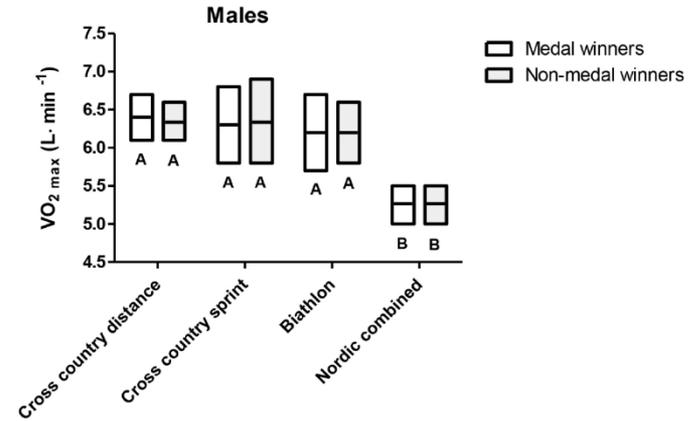
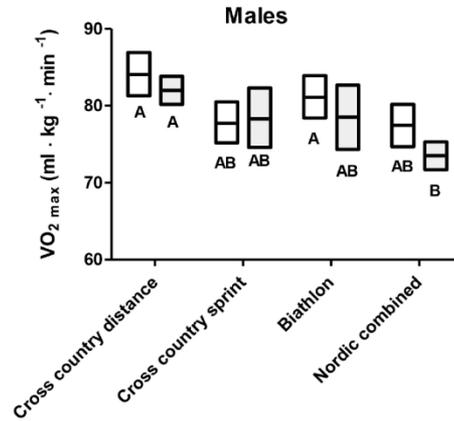
Abbreviations: XC, cross-country skiing, NC, Nordic combined; Abs, absolute; Rel, relative.

Within-gender differences: ^A Nordic combined medalists < cross-country sprint ($P < .01$). ^B NC < all other men's categories ($P < .01$). ^C NC nonmedals < XC distance men medals ($P < .01$). ^D Biathlon nonmedal women < all women's cross-country-skiing categories ($P < .05$).

Tonnessen et al. 2015

VO₂max du skieur nordique

Equipes nationales norvégiennes, avec/sans médailles (1990-2013)

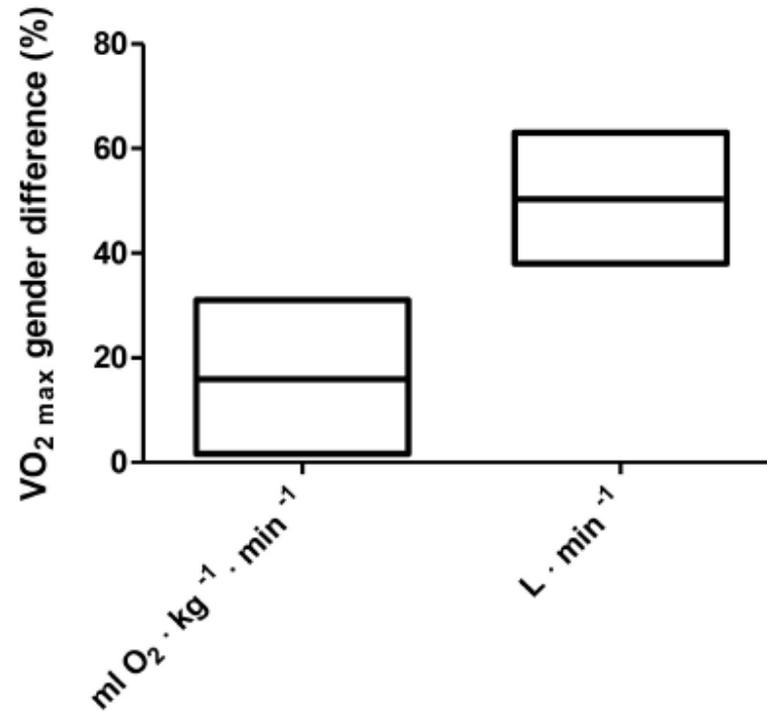


Tonnessen et al. 2015

VO₂max du skieur nordique

Equipes nationales norvégiennes, avec/sans médailles (1990-2013)

Différence de VO₂max Homme-Femme



Tonnessen et al. 2015

Le skieur de fond

Spécificités associées au ski de fond:

- Volumes et débits pulmonaires 5–20% plus élevés que le sédentaire (Holmberg et al., 2007) => Sélection probablement
- Prévalence importante d'hypoxémie induite à l'exercice (50% des athlètes d'endurance de haut niveau au niveau de la mer) (Nielsen et al., 1999) => Phénomène accru en altitude modérée
- VO_2 max parmi les plus élevées, peu d'athlètes masculins ont été médaillés avec une VO_2 max < 6 L/min ou ~ 80-90 mL/kg/min ; les athlètes féminines ont des VO_2 max ~10% plus basses, pouvant atteindre ~75 mL/kg/min
- Débit cardiaque maximal >40 L/min chez le skieur élite (Ekblom & Hermansen, 1968)
- FCmax inchangée ou légèrement diminuée, volume d'éjection systolique max >200 mL chez le skieur élite (Ekblom & Hermansen, 1968) => 50% de la VO_2 max expliquée par VES
- Volume sanguin (+200-300 mL) et quantité d'hémoglobine accrus (Lundgren et al., 2015)



Le skieur de fond

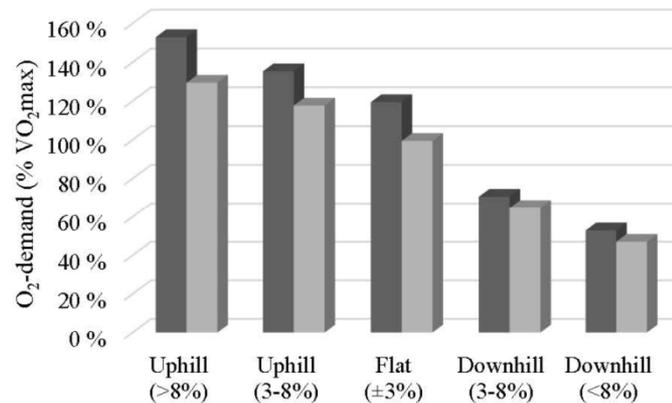
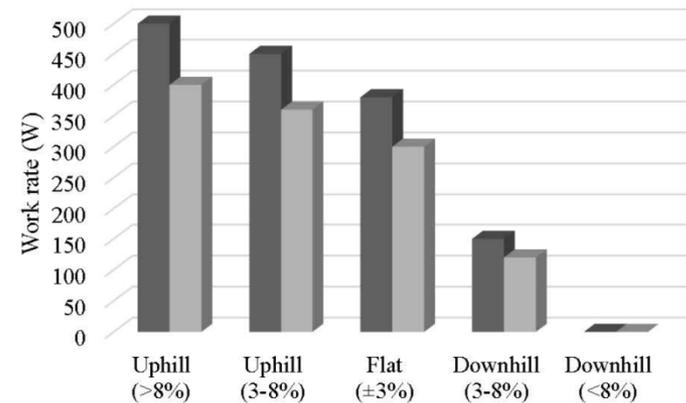
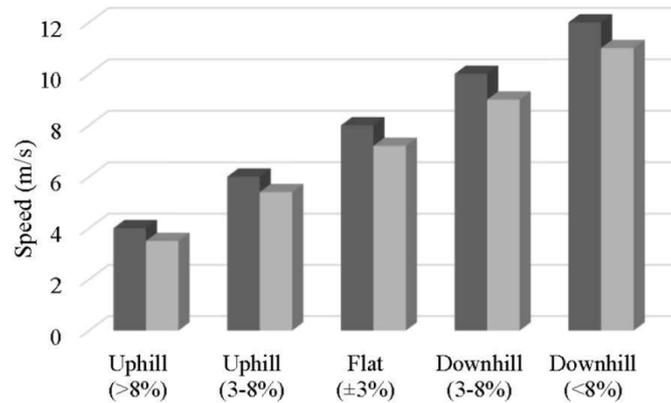
Spécificités associées au ski de fond:

- Capacité d'extraction musculaire élevée, >90% pour les jambes et >80% pour les bras (Calbet et al., 2005)
- ~70-75% de fibres de type 1, haut et bas du corps (Saltin, 1997)
- Diamètre des fibres musculaires du haut du corps accru de 15-25% entre les années 70 et 90 (Saltin, 1997) => augmentation de la puissance du haut du corps, entraînement spécifique
- Densité capillaire élevée du bas du corps comparable aux coureurs à pied et cyclistes (5-7 capillaires/fibre), densité capillaire du haut du corps élevée mais moindre que kayakistes ou nageurs (Saltin, 1997)
- Activité oxydative mitochondriale élevée, utilisation importante des lipides (Boushel et al., 2014) => capacité d'oxydation lipidique +++
- Consommation énergétique dans les côtes équivalentes à une VO_2 >120 ml/min/kg (Norman et al. 1989) => déficit de l'ordre de 40-60 ml/min/kg



VO₂ du skieur de fond

VO₂ en fonction du terrain



Sandbakk et al. 2017

Le skieur de fond

Spécificités associées au ski de fond:

- Capacité d'extraction musculaire élevée, >90% pour les jambes et >80% pour les bras (Calbet et al., 2005)
- ~70-75% de fibres de type 1, haut et bas du corps (Saltin, 1997)
- Diamètre des fibres musculaires du haut du corps accru de 15-25% entre les années 70 et 90 (Saltin, 1997) => augmentation de la puissance du haut du corps, entraînement spécifique
- Densité capillaire élevée du bas du corps comparable aux coureurs à pied et cyclistes (5-7 capillaires/fibre), densité capillaire du haut du corps élevée mais moindre que kayakistes ou nageurs (Saltin, 1997)
- Activité oxydative mitochondriale élevée, utilisation importante des lipides (Boushel et al., 2014) => capacité d'oxydation lipidique +++
- Consommation énergétique dans les côtes équivalentes à une VO_2 >120 ml/min/kg (Norman et al. 1989) => déficit de l'ordre de 40-60 ml/min/kg
- Production et consommation simultanée de lactate élevées
=> échanges et oxydation du lactate importants



Le Biathlète

Spécificités supplémentaires au biathlon:

- Effort intermittent: A l'approche du pas de tir, diminution de FC d'au moins 5% par rapport au rythme de course (90% FCmax); 60–70% FCmax pendant le tir (debout>couché)
(Hoffman & Street, 1992) => activités vagues +++
- Technique libre (pas de patineur) uniquement (années 80): sollicitation haut + bas du corps



Skating *versus* classic

VO₂max en fonction de la technique

	Men		Women	
	Sprint	Distance	Sprint	Distance
Uphill skating (G2/G3)				
VO ₂ peak (L/min)	5.8–6.6	5.5–6.4	4.1–4.4	4.0–4.4
VO ₂ peak (mL · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	70–78	80–85	63–68	65–72
%VO ₂ max	~97%	~98%	~97%	~98%
Flat skating (G4)				
VO ₂ peak (L/min)	5.6–6.5	5.3–6.2	3.9–4.3	3.8–4.3
VO ₂ peak (mL · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	68–75	76–82	64–68	66–72
%VO ₂ max	~95%	~94%	~94%	~94%
Uphill classical (diagonal)				
VO ₂ peak (L/min)	6.0–6.8	5.6–6.5	4.2–4.5	4.1–4.5
VO ₂ peak (mL · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	70–80	80–88	65–70	68–75
%VO ₂ max	~100%	~100%	~100%	~100%
Flat classical (double poling)				
VO ₂ peak (L/min)	5.4–6.2	5.0–6.0	3.8–4.1	3.7–4.1
VO ₂ peak (mL · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	65–73	75–80	62–65	65–70
%VO ₂ max	~92%	~91%	~90%	~90%

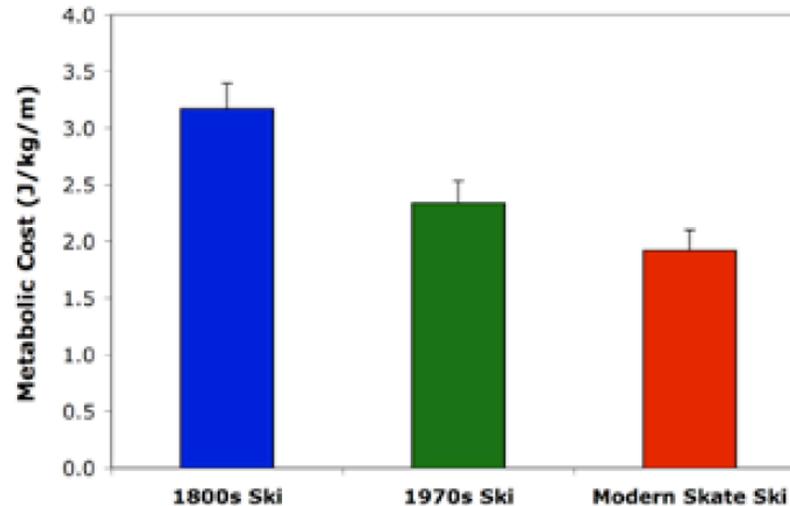
Sandbakk et al. 2017

Skating *versus* classic

Coût métabolique



Metabolic Cost per Meter Travel



Smith et al. 2010

Le Biathlète

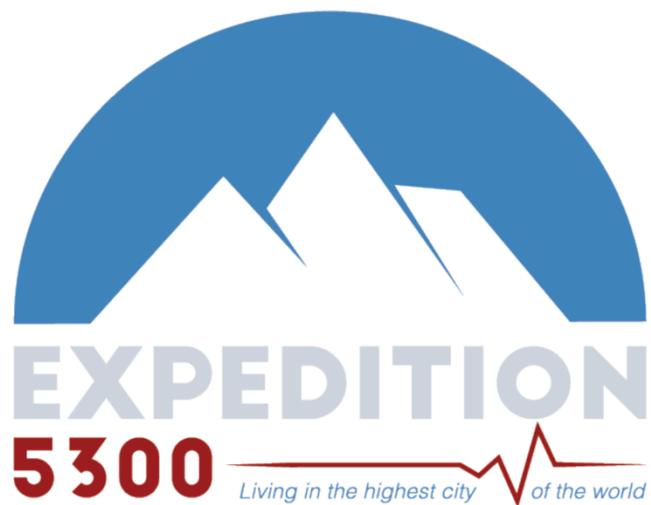
Spécificités supplémentaires au biathlon:

- Effort intermittent: A l'approche du pas de tir, diminution de FC d'au moins 5% par rapport au rythme de course (90% FCmax); 60–70% FCmax pendant le tir (debout>couché) (Hoffman & Street, 1992) => activités vagues +++
- Technique libre (pas de patineur) uniquement (années 80): sollicitation haut + bas du corps
- Port de la carabine (poids minimum 3,5 kg): modifications techniques/biomécaniques ; augmentation du coût énergétique
- Gestion de l'épreuve de tir, formats de course: stratégie/tactique



Physiologie du Biathlète





**SCIENTIFIC AND HUMANITARIAN
EXPEDITION
IN THE HIGHEST CITY OF THE WORLD**

.. FEBRUARY 2019 ..

www.expedition5300.com



www.expedition5300.com



