

# Évaluation de la déformabilité érythrocytaire des sujets porteurs de trait drépanocytaire au cours d'un match de football : effet de l'hydratation ad libitum

Evaluation of erythrocyte deformability in subjects with sickle cell trait during a soccer game: effect of hydration ad libitum

M. Diaw · M. Diop · A. Mbengue · F.B. Sar · C. Hounkpevi · V. Ouédraogo · A.J.F. Tiendrébeogo · A. Seck · B. Simaga · S. Diop · Y. Soubeiga · N.D. Sall · M.O. Kane · J. Faye · A.K. Sow · M. Sarr · A. Ba · F. Cissé · M.N. Ndiaye · A. Samb

Reçu le 29 août 2012 ; accepté le 19 février 2013  
© Société de pathologie exotique et Springer-Verlag France 2013

**Résumé** Cette étude compare les modifications érythrocytaires entre un groupe de sujets porteurs de trait drépanocytaire (PTD) et un groupe témoin (sujets avec hémoglobine normale) au cours d'un match de football avec ou sans hydratation. La déformabilité érythrocytaire des sujets a été évaluée par le coefficient de la rigidité érythrocytaire (Tk) qui a été calculé avant et après le match. Nos résultats montrent en condition non hydratée une augmentation significative de la rigidité érythrocytaire chez les PTD à la fin des activités physiques; cependant lorsque ces derniers s'hydrataient ad libitum leur rigidité érythrocytaire diminuait significativement pour atteindre les valeurs des sujets témoins. Ainsi, une hydratation adéquate est recommandée chez les sujets porteurs du trait drépanocytaire pendant et après un exercice physique.

**Mots clés** Trait drépanocytaire · Football · Sport · Hydratation · Déformabilité érythrocytaire · Sénégal · Afrique intertropicale

**Abstract** This study compared erythrocyte changes between a group of subjects with sickle cell trait (SCT) and controls (subjects without hemoglobinopathy) during a soccer game in two conditions: with and without hydration. Erythrocyte deformability of subjects was assessed by the coefficient of erythrocyte rigidity (Tk) which was calculated before and after football match. Our results showed a significant increase in erythrocyte rigidity (Tk) in SCT at the end of physical activities without hydration; however when water was provided ad libitum their Tk decreased significantly, reaching values of controls. And adequate hydration is recommended in subjects with sickle cell trait during and after exercise.

**Keywords** Sickle cell trait · Soccer · Sport · Hydration · Erythrocyte deformability · Senegal · Sub-Saharan Africa

## Introduction

Le trait drépanocytaire, forme hétérozygote de la drépanocytose, contrairement à la forme homozygote, est généralement considéré comme asymptomatique. Cependant des accidents micro-vasculaires ont été rapportés chez les sujets porteurs de trait drépanocytaire (PTD) lors des activités physiques en climat chaud [1,3,7,13-15,17]. Des données épidémiologiques de l'armée des États-Unis [14] ont montré que le risque de mort subite lié au stress de l'effort chez les Noirs porteurs du trait drépanocytaire était 30 fois plus élevé comparativement aux militaires noirs à hémoglobine normale [14]. D'autres études [12,13,15] ont rapporté chez certains sujets PTD des accidents vasculaires à type de rétinopathies vasculaires au cours des exercices physiques réalisés

M. Diaw · F.B. Sar · C. Hounkpevi · V. Ouédraogo · A.J.F. Tiendrébeogo · A. Seck · B. Simaga · S. Diop · Y. Soubeiga · N.D. Sall · M.O. Kane · A.K. Sow · M. Sarr · A. Ba · F. Cissé · M.N. Ndiaye · A. Samb  
Faculté de médecine, de pharmacie et d'odontologie.  
Université Cheikh Anta Diop. B.P. 5005, Dakar, Sénégal

M. Diop · J. Faye (✉)  
Institut national supérieur de l'éducation populaire et du sport (INSEPS).B.P. 3256, Dakar, Sénégal  
e-mail : jeanfaye47@yahoo.fr

A. Mbengue  
Service d'explorations fonctionnelles,  
Hôpital régional de Thiès, Sénégal

dans certaines conditions climatiques (humidité élevée et forte chaleur).

La pratique d'exercice physique chez les sujets PTD pourrait être associée à une stimulation de la falciformation et une hyper-rigidité membranaire des érythrocytes falciformes qui semblent être à l'origine de certaines micro-vasculopathies rapportées chez ces individus [4,3,8,9,12,15,22]. Cependant, des études récentes ont montré qu'un apport hydrique suffisant permet de limiter efficacement la falciformation et de rendre plus déformables les globules rouges falciformes au cours des exercices sous maximaux, c'est-à-dire à une charge inférieure à 75 % de la puissance maximale aérobie [4,23].

Le but de cette étude a été d'évaluer l'effet de l'hydratation et de la privation d'eau sur la déformabilité des érythrocytes falciformes au cours d'un match de football chez des sujets porteurs du trait drépanocytaire en utilisant le coefficient de rigidité érythrocytaire [2,6,10,11,18,23].

## Matériels et méthodes

### Sujets et protocole

L'étude s'est déroulée au mois de février au stade Iba Mar Diop de Dakar. Vingt-deux étudiants africains de l'Institut national supérieur de l'éducation populaire et du sport (INSEPS) de Dakar, de sexe masculin, âgés de  $26 \pm 2,16$  ans, pesant  $69,7 \pm 5,45$  kg, pour une taille de  $176 \pm 8,3$  cm, ont participé à la présente étude après avoir signé un consentement éclairé.

Onze sujets étaient de génotype AA (groupe témoin) et 11 sujets étaient de génotype AS (sujets PDT). Ils étaient tous des étudiants sportifs pratiquant régulièrement des activités physiques (football, handball, basketball, athlétisme, gymnastique, volleyball, judo, lutte et natation) plus de 10 heures par semaine.

Une électrophorèse de l'hémoglobine nous a permis de confirmer la présence de l'hémoglobine anormale S des PTD. Ces sujets avaient un taux moyen d'hémoglobine HbS de  $34,78 \pm 4,6$  %.

Ils ont ensuite été randomisés en deux équipes : une équipe A de 11 joueurs constituée de 6 sujets AA dont le gardien de but et 5 sujets AS, et une équipe B de 11 joueurs, comprenant 6 AS dont le gardien de but et 5 AA.

Les deux équipes se sont affrontées lors de deux matchs de football d'une durée de 90 minutes. Ces deux matchs ont été réalisés à deux semaines d'intervalle et dans des conditions environnementales comparables (température :  $24,5 - 25$  °C ; hygrométrie : 65 – 68 %). Les joueurs devaient jouer les matchs de football dans deux conditions (condition non hydratée : NH et condition hydratée : H) sans effectuer des activités physiques intenses à la veille du premier match, et au cours de l'intervalle séparant les deux matchs de football.

Au cours du premier match, les joueurs de l'équipe A étaient autorisés à boire de l'eau à volonté, sans restriction hydrique (condition hydratée : H) contrairement aux joueurs de l'équipe B qui en étaient privés pendant le match (condition non hydratée : NH).

Lors du deuxième match, les conditions d'hydratation étaient inversées. Les joueurs de l'équipe A passaient le match sans boire, alors que ceux de l'équipe B pouvaient boire de l'eau ad libitum.

À la fin des matchs, la consommation d'eau était en moyenne de  $1300 \pm 350$ ml et de  $1500 \pm 375$ ml respectivement dans le groupe témoin et chez les PTD.

Ainsi nous avons constitué deux groupes (groupe AA et groupe AS) dans deux conditions (hydratée et non hydratée), ce qui constitue 4 sous-groupes : AANH- AAH- ASNH- ASH.

La taille des sujets a été mesurée avec une toise (Seca mécanique 216), puis le poids a été évalué par un pèse-personne (TESTUT) avant et après les matchs. L'indice de masse corporelle a été calculé par la formule de Quetelet : poids/taille<sup>2</sup>. La densité urinaire a été mesurée au repos et à la fin des activités physiques grâce à un analyseur d'urine (Roche Urisys 1100 urine Analyzer).

### Prélèvements et mesures des paramètres

Des prélèvements sanguins de 5 ml de sang total dans des tubes EDTA ont été effectués avant et immédiatement après les matchs pour la mesure des paramètres hémorhéologiques.

Les viscosités sanguine (hb) et plasmatique (hp) ont été mesurées à de grandes vitesses de cisaillement ( $225\text{S}^{-1}$  et  $375\text{S}^{-1}$  respectivement) à l'aide d'un viscosimètre (*Brookfield Pro DVII+* ; *con-plan*). L'hématocrite (Hct) a été évalué au repos et à la récupération par la méthode de micro-centrifugation à la vitesse de 1000 g à 25°C pendant 5 minutes grâce une micro-centrifugeuse (Jouan-Hema-C, Saint Herblain, France).

Ces paramètres hémorhéologiques nous ont permis de calculer le coefficient de rigidité érythrocytaire (TK) selon l'équation de Dintenfass [2, 6,10, 11, 18, 23] :

$$TK = (hr^{0.4} - 1) / (hr^{0.4} \times Hct) \text{ ou } hr = hb/hp ; hr = \text{viscosité sanguine relative.}$$

### Traitement des données

Les moyennes et les écarts-types ont été calculés pour chaque paramètre. Les caractéristiques anthropométriques ont été analysées en utilisant le test t de Student. L'analyse des variances à 2 voies (ANOVA II) avec des mesures répétées a été réalisée pour la comparaison des autres paramètres à l'aide de Statistica (v. 5.5, Statsoft, Tulsa, OK). Le niveau de significativité a été défini à  $P < 0,05$ .

### Résultats

Les moyennes des données anthropométriques (âge, taille, poids, IMC) des deux groupes ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ). Le taux moyen de l'hémoglobine HbS des sujets porteurs de trait drépanocytaire est de  $34,78 \pm 4,6 \%$  (Tableau 1).

Au repos, le poids corporel des sujets témoins était  $70,82 \text{ kg} \pm 7,64 \text{ kg}$  et celui des PTD était de  $69,45 \pm 8,31 \text{ kg}$  et à la récupération ils sont passés respectivement à  $68,79 \pm 7,03 \text{ kg}$  et à  $67,39 \pm 6,7 \text{ kg}$  en condition non hydratée. Après les matchs, en condition hydratée, les poids corporels étaient respectivement de  $69,89 \pm 7,4 \text{ kg}$  et de  $68,09 \pm 7,2 \text{ kg}$  dans le groupe des témoins et dans le groupe des PTD (Tableau 2).

Ainsi une perte significative du poids corporel ( $p = 0,031$ ) a été notée à la fin du match chez les deux groupes en condition non hydratée (Tableau 2).

La densité urinaire de repos des sujets témoins était de  $1,025 \pm 0,09 \text{ mg/l}$  en condition non hydratée et de  $1,026 \pm$

$0,06 \text{ mg/l}$  lorsqu'ils étaient hydratés. Dans le groupe des PTD, elle était au repos de  $1,025 \pm 0,06 \text{ mg/l}$  en condition non hydratée et de  $1,023 \pm 0,01 \text{ mg/l}$  en condition hydratée (Tableau 2). Pendant la récupération, elle est passée en condition non hydratée à  $1,036 \pm 0,02 \text{ mg/l}$  et à  $1,04 \pm 0,02 \text{ mg/l}$  respectivement dans le groupe des témoins et dans le groupe des PTD. Lorsque les joueurs témoins et PTD s'hydrataient la densité urinaire était respectivement de  $1,026 \pm 0,02 \text{ mg/l}$  et de  $1,025 \pm 0,06 \text{ mg/l}$ .

Ainsi une augmentation significative de la densité urinaire est observée dans les deux groupes uniquement en condition non hydratée ( $p < 0,05$ ).

Le coefficient de rigidité érythrocytaire (Tk) des PTD n'est pas significativement différent de celui des sujets témoins au repos dans les deux conditions (hydratée et non hydratée). A la récupération, aucune augmentation significative n'a été notée chez le groupe des témoins quelle que soit la condition ; cependant dans le groupe des PTD il est passé de  $0,78 \pm 0,8$  à  $0,99 \pm 0,34$  en condition non hydratée et à  $0,62 \pm 0,95$  lorsqu'ils étaient hydratés (Fig. 1).

Ainsi, une augmentation significative ( $p = 0,008$ ) du coefficient de rigidité érythrocytaire a été notée à la récupération dans le groupe des PTD uniquement en condition non hydratée.

**Tableau 1** Données anthropométriques des sujets / *Anthropometric data of the subjects.*

Sujets	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
Témoins	$26,04 \pm 4,5$	$70,56 \pm 6,8$	$178,53 \pm 7,5$	$22,02 \pm 1,4$
PTD	$26,12 \pm 3,8$	$69,84 \pm 7,4$	$176,67 \pm 8,1$	$21,79 \pm 1,6$

Témoins = groupe témoin; PTD = Porteurs de Trait Drépanocytaire. IMC = Indice de Masse Corporelle.

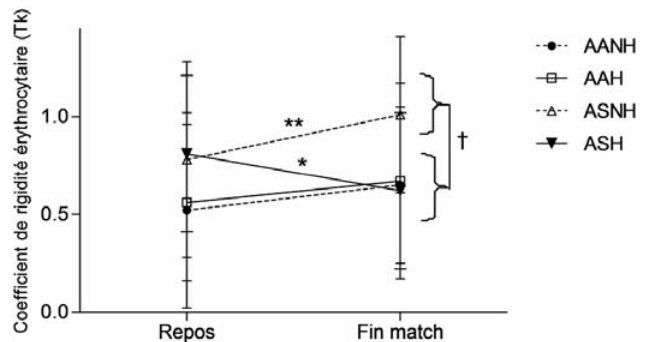
**Tableau 2** Résultats du poids corporel et de la densité urinaire des deux groupes au repos et à la fin des matchs de football / *Results of body weight and urine density of the two groups at rest and at the end of soccer games.*

Sujets	Poids (kg)		Densité urinaire (mg/l)	
	Repos	Fin match	Repos	Fin match
AANH	$70,82 \pm 7,64$	$68,79 \pm 7,03 \dagger$	$1,024 \pm 0,09$	$1,038 \pm 0,02 \dagger$
AAH	$70,81 \pm 7,63$	$69,89 \pm 7,4$	$1,026 \pm 0,06$	$1,026 \pm 0,02$
ASNH	$69,45 \pm 8,31$	$67,39 \pm 6,7 \dagger$	$1,025 \pm 0,06$	$1,04 \pm 0,03 \dagger$
ASH	$69,38 \pm 8,37$	$68,09 \pm 7,2$	$1,023 \pm 0,1$	$1,025 \pm 0,005$

AA = groupe témoin ; AS= Porteurs de Trait Drépanocytaire ; H = Hydraté, NH= Non Hydraté, † Différence significative entre le repos et la fin des matchs ( $\dagger p < 0,05$ ).

### Discussion

La principale observation de cette étude est l'effet bénéfique d'un apport hydrique sur la déformabilité érythrocytaire chez



**Fig. 1** Le coefficient de rigidité érythrocytaire (Tk) avant et après les matchs des deux groupes dans les deux conditions (hydratée et non hydratée) \*Différence entre le repos et la fin du match dans le groupe des PTD dans les deux conditions (\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$ ) ; † Différence entre les PTD en condition non hydratée et les autres groupes : AANH, AAH et ASH ( $\dagger p < 0,05$ ). / *The erythrocyte rigidity coefficient (Tk) of the two groups before and after soccer games in both conditions (hydrated and non-hydrated).*

les PTD au cours des exercices physiques réalisés en climat chaud.

### Réponses physiologiques à l'exercice physique et état d'hydratation

Le niveau d'hydratation des sujets a été apprécié par la densité urinaire selon les recommandations du Collège américain de médecine du sport [21]. La pratique d'exercice physique dans les conditions de chaleur est à l'origine d'importantes réponses physiologiques. En effet, à la fin du match de football, l'analyse de la densité urinaire a montré des valeurs significativement élevées pendant la récupération dans les deux groupes uniquement en condition non hydratée. Ces modifications biologiques observées ont indiqué que nos sujets étaient bien déshydratés à la fin des matchs (densité urinaire  $> 1,025\text{mg/l}$  [21]). Ces résultats ont montré également que la déshydratation était plus accentuée dans le groupe des PTD que dans le groupe des témoins (supérieur à  $1,030\text{mg/l}$  [21]).

En revanche, lorsque nos sujets s'hydrataient, la densité urinaire a été normalisée; ce qui suggère qu'ils étaient en état d'eu-hydratation [21]. Ces résultats confirment ceux de Chevront et al [5] qui ont montré qu'une perte de la masse corporelle de plus de 2 % induite par la déshydratation au cours des activités physiques intenses en climat chaud avec une forte humidité peut exacerber les contraintes thermiques et cardio-vasculaires [16], ce qui altère les performances des athlètes [5, 21].

Par ailleurs, l'analyse de la densité urinaire dans le groupe des PTD a montré une augmentation significative en condition non hydratée à la fin des matchs, alors qu'elle restait inchangée lorsque ces individus s'hydrataient. Ces résultats prouvent que nos sujets PTD avaient un pouvoir de concentration-dilution des urines.

### Activités physiques et modifications érythrocytaires

Des modifications significatives de la déformabilité érythrocytaire ont été observées à la fin des activités physiques dans le groupe des PTD. En effet, le coefficient de rigidité érythrocytaire de ces individus est passé en condition non hydratée de  $0,78 \pm 0,8$  à  $0,99 \pm 0,34$  respectivement au repos et à la fin du match. Ces modifications membranaires pourraient découler du processus de falciformation avec une déshydratation des globules rouges [1,4,13]. En effet, Eichner [13] a rapporté que les phénomènes de falciformation observés chez les sujets à hémoglobine HbAS au cours des exercices physiques pourraient commencer dans les dix premières minutes des activités physiques avant d'atteindre un niveau très grave. De plus Bergeron et al [4] ont noté une augmentation significative du nombre d'érythrocytes falciformes chez des sujets porteurs de trait drépanocytaire après

des épreuves physiques de 45 minutes sur des cycloergomètres à une température ambiante de  $33^\circ\text{C}$ . Des changements de la perméabilité membranaire des globules rouges avec une diffusion d'eau libre hors du cytoplasme ont été observés au cours des exercices physiques [12,13], ce qui rendrait rigide la membrane érythrocytaire. Ces anomalies membranaires des globules rouges falciformes seraient impliquées dans la survenue des accidents vaso-occlusifs observés dans les capillaires périphériques au cours des exercices physiques [4,12,13,15,17,20,22]. Le ralentissement du flux sanguin découlant des adhérences des érythrocytes sur l'endothélium vasculaire et de l'inadéquation entre la rigidité érythrocytaire et le diamètre des capillaires pourrait être à l'origine des accidents micro-vasculaires à type de néphropathies et/ou de rétinopathies rapportées dans la littérature chez cette population [13,15,19]. En effet, une occlusion de la veine centrale de la rétine gauche a été diagnostiquée chez un jeune cycliste antillais après une course cycliste de 139 kilomètres en température ambiante de  $33^\circ\text{C}$  et d'une humidité à 60 % [15]. L'hyper-rigidité érythrocytaire associée à l'hyperviscosité sanguine a été rapportée comme étant la cause de cet accident micro-vasculaire [15]. Wirthwein et al [25] ont également rapporté que trois jeunes noirs sportifs n'ayant pas d'antécédents pathologiques particuliers sont décédés suite à un effort physique réalisé en climat tropical chez qui l'électrophorèse de l'hémoglobine post-mortem a permis de retrouver le profil AS de ces individus. En revanche, nos sujets porteurs de trait drépanocytaire ont réalisé avec succès les matchs de football dans les deux conditions et aucune anomalie sur le plan clinique n'a été observée. Ceci pourrait aller dans le même sens que les résultats d'autres études [23,24]. En effet, Vincent et al [24] par exemple, ont rapporté que la pratique sportive régulière permettrait un remodelage vasculaire chronique et par conséquent de compenser les troubles hémorhéologiques tels que l'hyperviscosité sanguine qui pourraient jouer un rôle important dans la survenue des accidents micro-vasculaires chez les PTD.

### Effets de l'apport hydrique sur l'hyper-rigidité membranaire

Nos résultats ont montré qu'en condition hydratée les érythrocytes falciformes deviennent plus déformables à la fin du match dans le groupe des PTD. En effet de  $0,99 \pm 0,34$  en condition non hydratée le  $Tk$  est passé à  $0,62 \pm 0,95$  lorsque les sujets étaient hydratés. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de Bergeron et coll. [4] qui ont montré en 2004 qu'une bonne ingestion d'eau permettrait de limiter efficacement le processus de falciformation érythrocytaire au cours des activités physiques. Ceci confirme les conclusions de Trippette et al [23] en 2010 qui suggèrent qu'un apport hydrique ad libitum permettrait d'améliorer significativement les

anomalies de la déformabilité érythrocytaire post-exercices rapportées chez les PTD au cours des activités physiques sous maximales (55 % de la puissance maximale aérobie).

## Conclusion

Bien que le trait drépanocytaire soit caractérisé par une expression clinique bénigne, des accidents microvasculaires à type de rétinopathies ont été rapportés dans la littérature au cours des exercices physiques dans certaines conditions environnementales. Les anomalies de la déformabilité des érythrocytes falciformes ont été décrites comme étant des facteurs non négligeables dans la survenue de ces microvasculopathies. L'hydratation ad libitum réduit significativement l'hyper-rigidité érythrocytaire post-exercice observée chez des sujets porteurs de trait drépanocytaire au cours des exercices physiques de longue durée comme le football.

Ainsi une bonne hydratation est fortement recommandée aux sujets porteurs de trait drépanocytaire pendant et après un exercice physique en climat chaud.

**Conflit d'intérêt :** les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt

## Références

- Anzalone ML, Green VS, Buja M, et al (2010) Sick cell trait and fatal rhabdomyolysis in football training: a case study. *Med Sci Sports Exerc* 42(1):3-7
- Balayssac-Siransy E, Connes P, Tuo N, et al (2011) Mild haemorrhological changes induced by a moderate endurance exercise in patients with sickle cell anaemia. *Br J Haematol* 154(3):398-407. Epub 2011 May 14
- Baskurt OK, Meiselman HJ, Bergeron MF (2007) Re: Point: Counterpoint: Sick cell trait should/should not be considered asymptomatic and as a benign condition during physical activity. *J Appl Physiol* 103(6):2143-4
- Bergeron MF, Cannon JG, Hall EL, Kutlar A (2004) Erythrocyte sickling during exercise and thermal stress. *Clin J Sport Med* 14(6):354-6
- Chevronton SN, Carter R 3rd, Sawka MN (2003) Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2(4):202-8
- Connes P, Bouix D, Py G, et al (2004) Opposite effects of in vitro lactate on erythrocyte deformability in athletes and untrained subjects. *Clin Hemorheol Microcirc* 31(4):311-8
- Connes P, Hardy-Dessources MD, Hue O (2007) Counterpoint: Sick cell trait should not be considered asymptomatic and as a benign condition during physical activity. *J Appl Physiol* 103(6):2138-40
- Connes P, Hue O, Tripette J, Hardy-Dessources MD (2008) Blood rheology abnormalities and vascular cell adhesion mechanisms in sickle cell trait carriers during exercise. *Clin Hemorheol Microcirc* 39(1-4):179-84
- Connes P, Sara F, Hardy-Dessources MD, et al (2006) Effects of short supramaximal exercise on hemorheology in sickle cell trait carriers. *Eur J Appl Physiol* 97(2):143-50 Epub 2006 Feb 28.
- Dintenfass L (1985) Red cell rigidity, "Tk", and filtration. *Clin Hemorheol* 5:241-4
- Dintenfass L (1985) Blood viscosity, hyperviscosity and hyper-viscosaemia. MTP press.
- Eichner ER (2007) Sick cell trait. *J Sport Rehabil* 16(3): 197-203
- Eichner ER (2010) Sick cell trait in sports. *Curr Sports Med Rep* 9(6):347-51
- Gardner JW, Kark JA (1994) Fatal rhabdomyolysis presenting as mild heat illness in military training. *Mil Med* 159(2):160-3
- Hedreville M, Connes P, Romana M, et al (2009) Central retinal vein occlusion in a sickle cell trait carrier after a cycling race. *Med Sci Sports Exerc* 41(1):14-8
- Hoffman JR, Maresh CM, Armstrong LE, et al (1994) Effects of hydration state on plasma testosterone, cortisol and catecholamine concentrations before and during mild exercise at elevated temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 69(4): 294-300
- Kark JA, Ward FT (1994). Exercise and hemoglobin S. *Semin Hematol* 31(3):181-225
- Khaled S, Brun JF, Wagner A, et al (1998) Increased blood viscosity in iron-depleted elite athletes. *Clin Hemorheol Microcirc* 18(4):309-18
- Le Gallais D, Lonsdorfer J, Bogui P, Fattoum S (2007) Point: Sick cell trait should be considered asymptomatic and as a benign condition during physical activity. *J Appl Physiol* 103(6):2137-8. Epub 2007 Mar 29.
- Monchanin G, Connes P, Wouassi D, et al (2005) Hemorheology, sickle cell trait, and alpha-thalassemia in athletes: effects of exercise. *Med Sci Sports Exerc* 37(7):1086-92
- Sawka MN, Noakes TD (2007) Does dehydration impair exercise performance? *Med Sci Sports Exerc* 39(8):1209-17
- Tripette J, Hardy-Dessources MD, Sara F, et al (2007) Does repeated and heavy exercise impair blood rheology in carriers of sickle cell trait? *Clin J Sport Med* 17(6):465-70
- Tripette J, Loko G, Samb A, et al (2010) Effects of hydration and dehydration on blood rheology in sickle cell trait carriers during exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 299(3): H908-14. Epub 2010 Jun 25
- Vincent L, Féasson L, Oyono-Enguélé S, et al (2010) Remodeling of skeletal muscle microvasculature in sickle cell trait and alpha-thalassemia. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 298(2): H375-84. Epub 2009 Nov 13.
- Wirthwein DP, Spotswood SD, Barnard JJ, Prahlow JA (2001) Death due to microvascular occlusion in sickle-cell trait following physical exertion. *J Forensic Sci* 46(2):399-401