

A szél és a tengerszint feletti magasság befolyása a 200m-es vágtafutásra

(The effect of Wind and Altitude in the 200-m Sprint)

JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS, 2003, 19, 49-49

Mike D. Quinn
Sheffield Hallam University

Fordította:
Béres Sándor
SZTE JGYPK TSTI
Szeged

A légellenállás és a tengerszint feletti magasság a 200m-es síkfutás versenyteljesítményére gyakorolt hatásának meghatározására egy matematikai modellt hoztak létre. E modellel a különböző szélességek, szélirányok, futósáv helyzetek hatását szimulálják a 200m-es futósávra. A 200m-es síkfutás szélmérese egyszerű, a szél sebességének csupán az egyenesben ható komponensét mérik, de az irányát nem. A szél sebessége nem lehet 2m/s-nál több, ha a cél egy rekord elérése. Egyértelmű, hogy a hivatalos mérés során kapott széleredmények és az atlétára ható szélviszonyok nagymértékben különböznek egymástól. A modell szerint, ugyanazon szélességmérés során kapott eredmények között fennálló viszonyok akár 0,5s-os idő különbségeket is eredményezhetnek. Ezen eredmények szerint, sok hivatalos 200m-es időt érvénytelenít a mérés körülménye. Néhány hivatalosan hátszeles eredmény tulajdonképpen szembeszél által akadályozott volt, melyet átlagoltak a verseny alatt. Ugyanakkor más eredmények, melyeket szembeszélben futottak, általános hátszél támogatott. Számításaink szerint egy átlagosan 2m/s-os, egyenesben hátulról fújó szél a 200m-es futót összességében csak 0,95m/s-os hátszélként segíti. Az alacsonyabb légnyomás, 1500m-es magasságon 0,11s-os előnyt jelent 200m-en, amely körülbelül 2m/s-os az egyenesben pontosan hátulról fújó hátszéllel támogatott futást jelent tengerszinten. A szél és a tengerszint feletti magasság kombinált hatására korrekciós számításokat határozottak meg a 200m síkfutásoknál. Meghatároztuk az új, a világon valaha futott 5 legjobb női és férfi eredményt, melyet szél és tengerszint feletti magasság hatásokkal korrigáltunk.

Kulcsszavak: atlétika, matematikai modell, futás, légellenállás

Bemutató

Az elmúlt évek során a vágta számok esetén egyre nagyobb az érdeklődés a szél és a tengerszint feletti magasság hatásának modellezésére. A vágtafutót akadályozza egy aerodinamikai húzó erő, mely egyszerre függ a levegő sűrűségétől és az uralkodó szélről. A szembeszél növeli ezt a húzó erőt, mely csökkenti az atléta sebességét. Ugyanakkor e húzó erő csökken, ha egyrészt hátszél van, vagy kisebb a levegő sűrűsége (pl. nagy tengerszint feletti magasság következtében). A vágta teljesítményét jelentősen befolyásolják ezek az összetevők.

Számos tanulmány használt matematikai modelleket a szél és a tengerszint feletti magasság hatásának meghatározására. Ezek közül több, Hill (1928) és később Keller (1973) úttörő munkájából fakad. Később Ward-Smith (1984, 1985a, 1985b 1999), Kyle és Caiozzo (1986), Dapena és Feltner (1987), Prichard (1993) és Behncke (1994) modellezte a szél hatását a futásra. Ezekon túlmenően Linthorne (1994) végzett kiterjedt statisztikai elemzést a szél a 100m-es síkfutásra tett hatásáról.

Minden korábbi kutatás a 100m-es síkfutásra koncentrált, mely során a futó egyenes vonalban fut és csak kis figyelmet fordítottak a 200m-es síkfutás során ható hasonló hatásokra.

A 200m-es síkfutásra során fellépő hatások sokkal összetettebbek, mint a 100m-nél. A táv első felét a futók egy félkörön teszik meg, ahol nincs információ a szélesebességekről. Az egyetlen hivatalosan is mért információ a szél egyenesben ható komponens sebessége, de nem a szél iránya. A 200m-es futás során a feltételek, melyekkel a sprinter szembe kerül, függenek a szélesebességtől, a szél irányától és a futósáv pozíciójától. Ugyanakkor az egyes futósávok sugara függ a pálya specifikációjától. Továbbá a levegő sűrűsége a függ a tengerszint feletti magasságtól. Fontos, hogy ezeket a hatásokat jobban megértsük, a 200m-t illetően.

E tanulmány célja egy olyan matematikai modell kifejlesztése, mely szimulálja a 200m versenyszámot, és amely használható a szél és a tengerszint feletti magasság hatásainak elemzésére. Az elsődleges cél, szerint a modellt a 100m-es síkfutás szimulálására használjuk, majd a szél és tengerszint feletti magasság hatásokkal kapott eredményeket összehasonlítjuk a korábbi tanulmányokéval. Négy kérdést fogalmaztunk meg a kutatásban: (1) Milyen hatással vannak a különböző szélesebességek és irányok a teljesítményre a 200m során? (2) Milyen különbségek vannak az egyes sávok között azonos szélviszonyok mellett? (3) Milyen kombinált hatással van a szél és tengerszint feletti magasság a 200m-es síkfutásra. (4) A szél és a tengerszint feletti magasság kombinált hatása hogyan alakítja a pillanatnyilag fennálló vágtafutó ranglistát?

Módszerek

A Keller-féle modell Newton törvényére épül; a futó mozgás egyenlete a következő:

$$\frac{dv(t)}{dt} = f(t) - \frac{1}{\tau} v \quad (1)$$

ahol a $v(t)$ a futó sebessége t időpontban, a mozgás irányában, az $f(t)$ a futót mozgató erő tömegegységként. A sebesség ellen, lineáris irányban ható erő v , és a τ az idő konstans. Feltételezzük hogy a $f(t) \leq F$, ahol az F a tömegegységre eső maximális erő, amit a futó ki tud fejteni. Ebben a tanulmányban a Keller modellt kibővítettük, mely így magába foglalja a sprinter reakcióidejét, és a légellenállást, mely függ a sprinter és a levegő között lévő relatív sebességtől. A mozgásra vonatkozó egyenlet a kibővített modellben a következő:

$$\frac{dv(t)}{dt} = f(t) - \frac{1}{\tau} v - \alpha (v - v_w)^2 \quad (2)$$

ahol a v_w a szél sebessége a földhöz viszonyítva és

$$\alpha = \frac{\rho C_d A}{2M} \quad (3)$$

A v_w pozitív értéke hátszelet, amíg a negatív értéke szembeszelet jelent. Az α a ρ -tól a levegő sűrűségétől függ, az M az atléta tömege, az A az atléta frontális felülete, és a C_d a vonatkozó együttható. A C_d függ az atléta testének és ruházatának formájától ill. felületétől és tapasztalat által meghatározott. A C_d korrekt értékének meghatározása vitákra adhat okot és a korábbi szerzők a 0,7 és 1,1-es értékeket használják. Jelen tanulmányban a C_d értékére 1,0-t használtuk, amely megegyezik Dapena és Feltner (1987) ill. Pritchard (1993) által használttal.

Az A a test frontális felülete, mely a sebesség v irányára merőlegesen vetül. Feltételezzük, hogy a frontális felület A , arányos az atléta teljes felületével A_b :

$$A = KA_b \quad (4)$$

ahol a K az arányosság konstansa, mely tapasztalatiilag meghatározott. A K együtthatót 0,24-nek határoztuk meg (Dapena & Feltner, 1987; Davis, 1980). A teljes felület függ a magasságtól h és az atléta tömegétől M , az alábbi egyenlet szerint

$$A_b = 0.217h^{0.725}M^{0.425} \quad (5)$$

(Dapena & Feltner, 1987; Vaughan, 1983). A tipikus M és h értékeket a mindenkor top 20 atléta tömeg és magasság értékeinek átlagolásával kapjuk (Matthews, 1992), 1997, 2001). A h és M értékek 1,80m és 74kg volt a férfiaknál és 1,67m és 57kg volt a nők esetén. Ezeket az értékeket használva a futás irányába eső testfelületet A , a férfiaknál $0,48\text{m}^2$, a nőknél $0,40\text{m}^2$ -re becsültük, mely eredmények igen hasonlóak a Linthorne (1994) által számított eredményeihez, aki a $0,50\text{m}^2$ -es férfi és $0,42\text{m}^2$ -es női értékeket kapott. Tenger szinten, 25°C fokos hőmérséklet mellett, megfelelő körülmények között rendezett nyári vágta verseny esetén a levegő sűrűségét $\rho = 1,184\text{kg/m}^3$ -nek vesszük (Dapena & Feltner, 1987).

A kibővített Keller modellben feltételezzük, hogy a reakció idő a δ másodpercben, a futó maximális erőt fejt ki $f(t) = F$. Először tanulmányozzuk a mozgás ellen ható $v_w \leq 0$ szembeszélet, állandó sebesség mellett. Az F , τ , és α a helyénvaló értéktartományával a futó sebessége, $t \geq \delta$ -nál:

$$v = \frac{2(F - \alpha v_w^2)\tau (1 - e^{-\frac{\eta(t-\delta)}{\tau}})}{\eta + 1 - 2\alpha\tau v_w + (\eta - 1 + 2\alpha\tau v_w) e^{-\frac{\eta(t-\delta)}{\tau}}} \quad (6)$$

ahol

$$\eta = \sqrt{4\alpha\tau(\tau F - v_w) + 1} \quad (7)$$

Pontosan a futó mögül fújó, $v_w \geq 0$ sebességű, állandó hátszél esetén, lesz egy rövid szakasz a verseny elején, amikor a futó sebessége kevesebb, mint v_w . E szakasz során $\delta \leq t \leq t_I$ az α értéke kismértékben különbözik, mivel az A terület a futó háta, aki előrehajlik a gyorsítási fázis alatt. Létezik egy kisebb kutatás, amely megadja a helyes A értéket; ugyanakkor a összteljesítményre való hatása igen kicsi, kivéve, ha a szokatlanul erős hátszél van, pl. ha meghaladja a 8m/s -ot. A $t > t_I$ -ben a futó sebessége meghaladja a hátszél sebességét és az adva van a 6. egyenletben δ helyettesítve van t_I -el. A jelenlegi világcúcsoknak a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva létrehozott konstans értékei $F = 12,08\text{m/s}$, $\tau = 0,955\text{s}$ a férfiaknak, $F = 12,19\text{m/s}$, $\tau = 0,848\text{s}$ a nőknek.

Táblázat 1. Férfi és női sprint világcúcsok

Fennálló világcúcsok Távolság	Az idő másodpercekben	
	férfiak	nők
50 m (fedettpálya)	5.56	5.96
60 m (fedettpálya)	6.39	6.92
100 m	9.79	10.49
200 m	19.32	21.34

Forrás: <http://www.iaaf.org>

A számításokban a reakció időt δ a legkisebb megengedhető értékre állítottuk, ami 0,1s (IAAF Kézikönyv 2001-2002). Valóságban egy világ élvonalába tartozó sprinter reakció ideje ritkán kerül 0,13s alá és átlagosan 0,15s. Ezt támasztják alá a 2001-es edmonton-i világbajnokság 100m-es eredményei. A negyeddöntő előrehaladtával az adatok szerint a kevésbé képzett futók sorban kiestek. A férfiak számában a 61 futás reakció idejei 0,123 és 0,186s közé estek, az átlag 0,154s volt. Csak két atlétának volt jobb reakcióideje, mint 0,130s. A nők reakció eredményei kismértékben jobbák voltak, 0,119 és 0,189s között, az átlagot tekintve 0,146s.

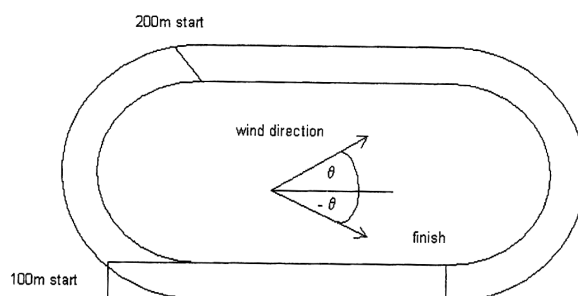
Egy szabvány szabadtéri atlétika pályán a 200m síkfutásban a kanyarfutás során több mint 100m-t kell megtenni. A atlétára ható szélviszonyok az ív során változnak, amíg az egyenesbe nem ér. Ez azt jelenti, hogy a 6. egyenlet, mely változatlan szélesebséggel számol nem reális a 200m síkfutás versenyre. A pontos szélviszonyok, mellyel a futó szembekekerül a pálya körülményeitől-, a sáv helyzetétől, a szél irányától és erejétől függenek.

A futópálya specifikációjának ki kell elégítenie az IAAF ajánlásait, mely szerint síkfelületűnek kell lennie, két párhuzamos egyenessel és két egyenlő sugarú félkörívvel. A 400m-es kör belső íve 32m és 42m közötti sugarú legyen. A 400m kimérése az egyes pályán a pálya belső vonalának belső szélétől 30cm-re legyen. Az összes többi pályán a belső vonal, belső szélétől 20cm-re legyen. A sáv szélesség 1,22m és 1,25m közé essen, melyet radiálisan a vonal belső élétől a mellette lévő pálya vonalának belső éle között kell mérni. A legkisebb megengedett 32m-es sugárral épített pálya hosszú egyenessel rendelkezik (98,5m), de a legtöbb atléta ezt az ívet túl szűknek találja. Ugyanakkor a 42m-es sugár szélesebb kanyart, de nagyon rövid egyenest (67,1m) jelent.

A szabvány futópálya 36,5m-es sugarú, és a sáv szélessége 1,22m. Ezeket a dimenziókat számba véve az egyenes 84,4m lesz. A vonalak hátrafelé meg vannak nyújtva, hogy a pálya alkalmas legyen a 100m-es és 110m-es gátfutásra. Ez azt jelenti, hogy a 200m-es síkfutás során 115,6m-es a kanyarfutás, amikor is az ív pályáról pályára változik. Eszerint a hát- vagy a szembeszél pontos hatását nehéz kiszámítani. Ugyanakkor bármely pontos pillanatban ki tudjuk számítani a tulajdonképpeni szelet, amely a futóra hat és meg tudjuk becsülni az egész verseny során fennálló átlagot. Ezt használtuk a 6. egyenletben, a különböző szélviszonyok modellezésére a 200m idejeit tekintve.

1936-tól IAAF csak a 2m/s-nál kisebb hátszéllel elért 100m-es rekordokat tekinti hivatalosnak. A szélesebséget 10 másodpercig mérik egy szélesebség mérővel, mely műveletre különleges szabályozások vonatkoznak. A szélmérő berendezést a talajtól 1,22m-re, a célvonalától 50m-re, és nem távolabb mint 2m-re kell elhelyezni a futópályától. A szél sebességét m/s-ban kell mérni és 0,1-es lépésekben felfelé kell kerekíteni. Az IAAF az 50-es évektől a szélszabályt kiterjesztette a 200m-es futásokra is, de elhatározta, hogy az egyszerű szélmérő berendezés elégséges a mérésekhez. A követelmény az volt, hogy a szél egyenesben ható komponens sebessége nem szabad, hogy elérje a 2m/s-ot, ugyan azt a határt, amit a 100m-es futásoknál. A mérést akkor kell elindítani és 10s-ig folytatni, amikor az első futó megérkezik az egyenesbe. Mivel a futás kevesebb mint fele történik csak az egyenesben, ezért ez a körülmény létrehozhat meglepő eredményeket. Ezek szerint lehet, hogy hátszelet mértek, ugyanakkor a verseny nagyobb szakaszán a szél akadályozta a futót.

Az egyik probléma az, hogy nem mérik a szél irányát, csak a szél egyenesben ható komponensének nagyságát. Eszerint, a 2m/s-os széleredményt létrehozhatta különböző erejű, különböző irányból fújó szél is. Szöge a szél az egyenessel bezárt szög alapján jön létre $\pm\theta$ (1. ábra). Variálhatjuk a szöget θ és a szélerőt, de fenn kell tartanunk ugyan azt a szélmerést az egyenesben.



1. ábra Szélirány a 200m-es futás során

A levegő sűrűsége nagyobb magasságon kisebb, mint a tengerszinten. Habár az IAAF nem határozza meg, hogy rekordokat milyen magasság alatt fogadnak el, általánosan elfogadott, hogy 1000m felett az eredmény „magasság által támogatott”. Moran, Morgan és Pauley (1996) szerint a levegő sűrűsége ρ_H , tenger szint felett H méter magasságnál függ a tengerszinten mérhető sűrűségtől a következő egyenlet alapján:

$$\rho_H = \rho_0 e^{\frac{-gH}{R(T + 273)}} \quad (8)$$

ahol a T a levegő hőmérséklete °C fokban, g a gravitációs gyorsulás, és a gáz konstans $R = 287$ J/kg. Ennek alapján Mexikó cityben (2250m-es magasság) 25°C fok mellett, a levegő sűrűsége $\rho = 0,915$ kg. Nincs rá bizonyíték, hogy a C_d -t befolyásolja a magasság növekedése, vagy hogy a gravitációs gyorsulás bármely variációjában a helyszín jelentős lenne (Behncke, 1994). Ezért szélcsendes körülmények között a sprintszámokra a tengerszint feletti magasság egyedül a levegő sűrűsége okán lehet előnyös.

Táblázat 2. A szél hatása a 100m és 200m-es teljesítményére

Szembeszél: idővesztés (s)	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0
Férfiak 100	0.340	0.262	0.189	0.121	0.058
Férfiak 200	0.318	0.251	0.184	0.121	0.059
Nők 100	0.378	0.291	0.209	0.134	0.064
Nők 200	0.357	0.280	0.205	0.135	0.065
Hátszél: idő nyereség (s)	+1.0	+2.0	+3.0	+4.0	+5.0
Férfiak 100	0.053	0.101	0.145	0.183	0.217
Férfiak 200	0.056	0.112	0.164	0.214	0.262
Nők 100	0.058	0.110	0.156	0.196	0.231
Nők 200	0.062	0.123	0.180	0.235	0.287

Megjegyzés: A 200m-es síkfutásnál a szélirányok csak az egyenesben a 8 pályán mérhető átlagos ($\theta = 0$) hátszél erősséget összegzik

Eredmények

A kiterjesztett Keller modell megjósolja Linthorne (1994) és Ward-Smith (1999) kutatásával egyetértésben a 100m-re ható szél és magasság hatásokat. A legnagyobb még hivatalosan is szereshető előny hozzávetőleg 0,1s (0,101s a férfiaknál és 0,110s a nőknél). 2m/s-os ellenszélben a férfiak idővesztése 0,121s, a nők idővesztése 0,134s. Szélcsendben 1000m magasságnál a szereshető előny 100m-en 0,032s.

200m-es síkfutás esetén a szélből szerezhető előnyök nagy variációjával találkozhatunk függően a szél sebességtől és irányától. A 2m/s-os hivatalos szélerővel számolva azt tapasztaljuk, hogy a fennálló körülmények a 200m egésze során nagymértékben változnak a szél irányától függően (3. Táblázat). Ha a szélirány $\theta = -70^\circ$ (1. Ábra) és a fennálló szélerő 5,85m/s, amely a futóra általánosan hat, akkor szemben ható szél átlagosan 1,21m/s a verseny folyamán. Ez egy férfi futót 0,16s-al, egy női futót 0,17s-al lassítja. Összevetve, ha a szél iránya $\theta = -53,2^\circ$ a szél ereje 3,34m/s, akkor a futó a verseny során egy átfogó 2m/s-os hátszél előnyét élvezzi. Ez egy férfi sprintert 0,22s-os, egy női sprintert 0,25s-os előnyhöz segít. Mindkét fent említett példában a nyolc sávra számolt átlagos eredményeket vettük.

3. Táblázat Korrekciós számítás (s) a 200m-es síkfutásra 2m/s-os hivatalos szél-sebességre

Szél irány. θ°	Pillanatnyi szél seb. (m/s)	Pálya 1		Pálya 8		A 8 pálya átl.	
		férfi	női	férfi	női	férfi	női
-70	5.85	-0.14	-0.16	-0.14	-0.17	-0.16	-0.17
-50.3	3.13	0	0	0.01	0.01	0	0
-30	2.31	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07
0	2	0.10	0.11	0.13	0.14	0.11	0.12
+30	2.31	0.15	0.16	0.18	0.20	0.16	0.18
+53.2	3.34	0.20	0.22	0.24	0.27	0.22	0.25
+70	5.85	0.30	0.33	0.35	0.38	0.33	0.36

4. Táblázat Időnyereség (s) 200m síkfutás esetén, az összes pályára vonatkozóan két különböző szélerő esetén

$\theta = 0$ Pálya	Szélerő = 2m/s		Szélerő = +4,22m/s	
	férfi	női	férfi	női
1	0.099	0.110	0.202	0.222
2	0.100	0.111	0.203	0.223
3	0.105	0.116	0.211	0.232
4	0.109	0.121	0.219	0.241
5	0.113	0.125	0.228	0.250
6	0.116	0.128	0.234	0.256
7	0.123	0.136	0.247	0.271
8	0.126	0.139	0.253	0.277
Átlag	0.112	0.123	0.225	0.247

Megjegyzés: Feltételezett egyenes mentén fújó szélirány mellett ($\theta = 0$).

A nyolc sávot figyelembe véve az egyes sávok között a futókat tekintve jelentős különbségek vannak ami szelet illeti. Mivel a szélirányt nem méri a legjobb stratégia egy $\theta = 0$ középértéket feltételezni, ahol a szél közvetlenül egyenes irányában fúj. A szél 2m/s-os, az időnyereség az 1. pályán 0,099s a férfiaknál, 0,110s a nőknél, míg a 8. pályán 0,126 a férfiaknál és 0,139 a nőknél (4. Táblázat). A szél sebessége 4,22m/s, mely ismét pontosan egyenesben fúj a 200m, során átlagosan 2m/s-os előnyt hoz létre, amely egyenlő a 100m-es síkfutásnál használatos hivatalos határral. Ennél a szélerőnél az időnyereség az 1. pályán a férfiaknál 0,202s, a nőknél 0,253s, míg a 8. pályán a férfiaknál 0,222s, a nőknél 0,277s (4.

Táblázat). Az szél feltételektől függő idővesztéséget, vagy nyereséget össze lehet hasonlítani a 200m-es és 100m-es eredmények vizsgálatával (2. Táblázat). Az eredmények $\theta = 0$ -t feltételeznek és a nyolc sáv átlagából származnak.

A 200m-es síkfutásra jelentősen hat a tengerszint feletti magasság és a szél kombinált hatása. Például szélcsendben 2000m-es magasság 0,14s-s előnyt jelent, és egy 2m/s-os hátszél ugyan azon a magasságon egy férfi atléta számára 0,25s-előnyt, összehasonlítva egy női atlétával, akinek 0,26s-os előnyt (5. Táblázat).

A két hatás kombinációja jelentős hatást gyakorol a 200m-es világranglistára. Ha a két faktorról korrigálnánk az időeredményeket, egy új 5-ös rangsor alakulna ki (6. Táblázat). A szélből és a magasságból származó előnyöket eltávolítva az eredményekből meghatározhatnánk a legjobb eredményeket.

5. Táblázat A hátszélből és magasságból származó idő előnyök 200m-en

Magasság (m)	Szélsebesség (m/s)					
	+0.0		+1.0		+2.0	
	férfiak	nők	férfiak	nők	férfiak	nők
0	0	0	0.06	0.06	0.11	0.12
500	0.04	0.04	0.09	0.10	0.15	0.16
1,000	0.07	0.07	0.13	0.13	0.18	0.20
1,500	0.11	0.11	0.16	0.17	0.22	0.23
2,000	0.14	0.14	0.19	0.20	0.25	0.26
2,500	0.17	0.17	0.22	0.23	0.28	0.29

Megjegyzés: A szél irányát az egyenessel egyezőnek vettük ($\theta = 0$), és az időértéket a 8 sávra vonatkozó átlagnak.

Diszkusszió

A paraméterek óvatos megválasztásával, a kiterjesztett Keller modell olyan 100m-es eredményeket hozott, mely szoros összefüggésben áll a Linthorne által megjelentetett (1994)-es statisztikai tanulmányban leírtakkal. A modell 0,101s-os előnyt jósol a férfiak számára 2m/s-os hátszél mellett, a 0,1s-s Linthorne (1994) számításához hasonlítva. 2m/s-os szembeszéllel számolva férfiaknál a várt idővesztés 0,121s, összevetve a Linthorne-féle számításokkal, mely 0,123s volt. Az erősebb széllel számolt eredmények szintén nagyon hasonlóak. Az 5m/s-os szembeszélnél a férfiak idővesztése 0,340s (2. Táblázat), összehasonlítva a Linthorne eredménnyel, ami 0,350s.

A modell által kapott a tengerszint feletti magasságból származó előnyök jóslásának eredményei szintén nagyon hasonlóak Linthorne 1994-es eredményeivel. A Utah állam béli Provo 380m-es magasságán a férfiak 100m-es versenyében a számolt előny 0,04s. Ez az eredmény megegyezik a Provoban készült 1989-es NCAA statisztikai elemzésével, mely Linthorne nevéhez fűződik (1994). A nők eredményei nem ilyen jók, de még mindig egyezést mutatnak. Például a modell 0,110s-os előnyt mutat 2m/s-os hátszél esetén összehasonlítva Linthorne által talált 0,12s-os eredménnyel (1994). A jósolt eredmények úgy a férfiak, mint a nők esetén szintén és hasonlóságot mutatnak Warrd-Smith (1999) eredményeivel.

A szélsebesség és irány nagymértékben befolyásolja a 200m-es eredményeket (3. Táblázat). Ugyan az a szél mérés, de különböző szélirányok akár fél másodperces időkülönbségeket is eredményezhetnek. Az egyenesben történő adott szél mérés eredményéből

következtethetünk, az átlagos szélkörülmenyre, amellyel mind a nyolc futó szembekerül a verseny egésze során. Ha szélmérés szerint a szél erőssége 2m/s, és a szél szöge $\theta = -90^\circ$ és $-50,3^\circ$ fok közé esik, akkor a futó szembeszélben fut, mely az egész versenyre vonatkozóan átlagolt. Mivel ezek az értékek az összes lehetséges szélirány 22%-át magába foglalják ezért sok az olyan teljesítmény is, melyet szél által segítettnek könyveltek el, ugyanakkor előnyre nem tettek szert szél által. Ha $\theta 53,2^\circ$ és $-53,2^\circ$ fok között van, a futó általánosságban hátszelet tapasztal, de 2m/s alatt. Csak ha $\theta 53,2^\circ$ és 90° fokos szög között van, kerül előnyös, 2m/s-nál nagyobb szél által támogatott helyzetbe a futó.

6. Táblázat Minden idők legjobb 200m-es férfi és női idejei a szél és a tengerszint feletti eredményekkel korrigálva

Világ-ranglista	atléta	Feldolgozatlan idő	év	Szél (m/s) sebesség	hely/magasság	Corrected time	New ranking
<i>Men</i>							
1	M. Johnson	19.32	1996	+0.4	Atlanta / 315 m	19.37	1
2	F. Fredericks	19.68	1996	+0.4	Atlanta / 315 m	19.73	= 2
3	P. Mennea	19.72	1979	+1.8	Mexico City / 2,250 m	19.97	18
4	M. Marsh	19.73	1992	-0.2	Barcelona / 95 m	19.73	= 2
5	C. Lewis	19.75	1983	+1.5	Indianapolis / 220 m	19.85	= 6
7	A. Boldon	19.77	1997	+0.7	Stuttgart / 250 m	19.83	= 4
10	J. Capel	19.85	2000	-0.3	Sacramento / 10 m	19.83	= 4
<i>Women</i>							
1	F. Griffith-Joyner	21.34	1988	+1.3	Seoul / 84 m	21.43	1
2	M. Jones	21.62	1997	-0.6	Johannesburg / 1,750 m	21.70	3
3	M. Ottey	21.64	1991	+0.8	Bruxelles / 35 m	21.69	2
= 4	M. Koch	21.71	1979	+0.7	K-Marx-Stadt / 410 m	21.78	= 6
= 4	H. Drechsler	21.71	1984	+1.2	Jena / 900 m	21.85	13
= 6	G. Torrence	21.72	1992	-0.1	Barcelona / 95 m	21.72	4
10	J. Cuthbert	21.75	1992	-0.1	Barcelona / 95 m	21.75	5

Megjegyzés: A szél irányát az egyenessel egyezőnek vettük ($\theta = 0$), és az időértéket a 8 sávra vonatkozó átlagnak.

Összehasonlítva a korrigált számításokat $\theta = -70^\circ$ és $\theta = 70^\circ$ (3. Táblázat) átlagosan 0,49s különbség van a férfiaknál és 0,53s a nőknél. Ez hatalmas eltérés figyelembe véve, hogy hivatalosan a szélviszonyok azonosak. Hasonló anomáliákat okoz, ha szembeszél fúj az egyenesben. Például ha 2m/s-os szembeszélet mérnek az egyenesben, mely egy -75° fokos szögből fújó hátszélből ered, átlagosan 2m/s-os hátszelet okoz a verseny egésze során. Ez a 200m-s teljesítmények nagyon nehéz összehasonlítását teszi lehetővé, még akkor is, ha a hivatalos szélsébség mérés azonos.

A szélviszonyokat összehasonlítva, amellyel a futók találkoznak mind a nyolc pályán feltételezhetjük, hogy a szél pontosan az egyenes irányában fúj. Amikor 2m/s-os hátszelet mértek, az egyenesben a futók mindegyikére a nyolc sávon egy átfogó hátszél hat, amely jóval alatta van a 100m-es síkfutásnál megengedethez képest. Számításaink szerint a futók előnyhöz 0,95m/s-os hátszélből jutnak, mely kevesebb mint fele a 100m-es versenyen megengedett határnak. Ez hasonló érték Heidenstrom (1992) által számoltéhoz (0,91m/s), ahol kismértékben különböző volt a pálya specifikáció. Időben meghatározva ez a férfiak számára 0,112s-os előnyt, nőknek 0,123s-os előnyt jelent (4. Táblázat). Ez csak kismértékben több mint a 100m (2. Táblázat) és jelentős mértékben kisebb, mint a Behncke (1994) által korrigált értékek, bár az nem tisztázott, hogy ő milyen specifikációjú pályán dolgozott.

Nyilvánvaló, hogy sokkal több szél információra van szükség, ami a 200m-t illeti. Még 100m-en sem pontosan mutatják a hivatalos szélmérés eredményei az egyes sprinterekre ható körülményeket (Linthorne, 2000). Minimum követelmény lenne a 2 darab szélmérő berendezés, az egyiket a kanyar mellett elhelyezve, a másikat az egyenesben. Mindazonáltal, még ez sem lenne elég ahhoz, hogy meghatározzuk pontosan a szél irányát és a sávok között fennálló különbségeket, mert egyedül az örvénylő szél jelenlétét mutatná a stadionban. Ideális esetben szélmérő berendezések sorát kellene elhelyezni a 200m-es pálya mindkét oldalán, mely növelné a szélmérés pontosságát.

A szél és a tengerszint feletti magasság kombinált befolyása a 200m-es síkfutásra teljesen egyértelmű (5. Táblázat). Hozzávetőleg 1500m-es tengerszint feletti magasság produkál olyan előnyöket a futás idejét illetően, mint a hivatalosan megengedett szél tengerszinten. Ez az egyenes mentén, a nyolc pályán egyenlő mértékben fújó szelet feltételez. A férfiak valaha futott 20 legjobb 200m-es eredménye közül hatot futottak 1000m feletti magasságon. A tengerszint feletti magassággal és a széllel korrigált legjobb 200m-es férfi és női eredményeket a 6. táblázat mutatja be. Mindkét listában a legjobb eredmények azonosak, azonban a listában lejjebb jelentős változások vannak. Gyakorlatilag átértékeljük Pietro Mennea 1979-ben Mexiko City-ben magaslaton futott 19,72s-os 200m-es eredményét.

Ez az elképesztő világrekord, mely közel 17 évig állt még mindig a valaha futott harmadik legjobb idő és jóval jobb eredmény, mint amit Mennea előtte vagy utána valamikor is futott. A magassággal és az 1,8m/s-os hátszéllel korrigált eredmény 19,97s, mely így lecsúszik a 18. helyre. Ez már hasonlít Mennea szél nélkül, alacsony magasságon futott eredményére mely 19,96s. Ez jól példázza a szél és tengerszint feletti magasság jelentős kombinált hatását.

Ez a tanulmány számos korláttal rendelkezik. Noha az alap Keller modell kibővítésre került, azonban nem teljesen pontosan jósolja meg a világklasszis sprinterek mért eredmény profilját (Ferro, Rivera, Pagola, és társai, 2001). Ráadásul 200m-en a hivatalos szélmérés valószerűtlensége a szél valódi hatásának becslését nagyon megnehezíti. Világos, hogy több információra van szükség a szél irányának és erejének meghatározására a 200m-es táv egészét illetően. Ezen behatároltságok ellenére ez a szimuláció értékes bepillantást nyújthat a szél és a tengerszint feletti magasság 200m-s síkfutásra vonatkozó hatásaira.

Irodalomjegyzék

- Behncke, H. (1994). Small effects in running. *Journal of Applied Biomechanics*, **10**, 270-290.
- Dapena, J., & Feltner, M.E. (1987). Effects of wind and altitude on the times of 100-meter sprint races. *International Journal of Sport Biomechanics*, **3**, 6-39.
- Davies, C.T.M. (1980). Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *Journal of Applied Physiology*, **48**, 702-709.
- Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruela, M., Martin, A., & Rocandio, V. (2001). Biomechanical research project at the 7th World Championships in Athletics, Seville 1999. *New Studies in Athletics*, **16**, 25-60.
- Heidenstrom, P.N. (1992). A new attitude to altitude. *Athletics: The International Track and Field Annual-1993*, pp. 121-124.
- Hill, A.V. (1928). The air-resistance to a runner. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, **102**, 380-385.
- IAAF Handbook 2001-2002. (2001). Monaco: International Amateur Athletic Federation.
- Keller, J.B. (1973). A theory of competitive running. *Physics Today*, **26**, 42-47.
- Kyle, C.R., & Caiozzo, V.J. (1986). The effect of athletic clothing aerodynamics upon running speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **18**, 509-515.
- Linthorne, N.P. (1994). The effect of wind on 100-m sprint times. *Journal of Applied Biomechanics*, **10**, 110-131.
- Linthorne, N.P. (2000). Accuracy of wind measurements in athletics. In A.J. Subic & S.J. Haake (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Conference on The Engineering of Sport* (pp. 451-458). Oxford: Blackwell Scientific.
- Matthews, P. (1992). Biographies of leading athletes. *Athletics: The International Track and Field Annual-1993*, pp. 136-249.
- Matthews, P. (1997). Biographies of leading athletes. *Athletics: The International Track and Field Annual-1997*, pp. 127-243.
- Matthews, P. (2001). Biographies of leading athletes. *Athletics: The International Track and Field Annual-2001*, pp. 129-237.
- Moran, J.M., Morgan, M.D., & Pauley, P.M. (1996). *Meteorology: The atmosphere and science of weather*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Pritchard, W.G. (1993). Mathematical models of running. *SIAM Review*, **35**, 359-379.
- Vaughan, C.I. (1983). Simulation of a sprinter. Part 1. Development of a model. *International Journal of Biomedical Computing*, **14**, 65-74.
- Ward-Smith, A.J. (1984). Air resistance and its influence on the biomechanics and energetics of sprinting at sea level and at altitude. *Journal of Biomechanics*, **17**, 339-347.
- Ward-Smith, A.J. (1985a). A mathematical theory of running based on the first law of thermodynamics, and its application to the performance of world-class athletes. *Journal of Biomechanics*, **18**, 337-349.
- Ward-Smith, A.J. (1985b). A mathematical analysis of the influence of adverse and favourable winds on sprinting. *Journal of Biomechanics*, **18**, 351-357.
- Ward-Smith, A.J. (1999). New insights into the effect of wind assistance on sprinting performance. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 325-334.