

## EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

### Deguonies išotinio raumenyse ir funkcinų išeminių reiškinų miokarde kitimo ypatybės atliekant pakopomis didėjančią krūvį veloergometru

Vytautas Poškaitis, Birutė Miseckaitė<sup>1</sup>, Eurelija Venskaitytė<sup>1</sup>,  
Jonas Poderys<sup>1</sup>, Alfonsas Vainoras

Kauno medicinos universitetas, <sup>1</sup>Lietuvos kūno kultūros akademija

**Raktažodžiai:** fizinis darbingumas, širdies ir kraujagyslių sistema, deguonies išotinimas.

**Santrauka.** Iki šiol nepakankamai ištirta, kaip ir kokia seka vyksta atskiri procesai, kai, didinant fizinio krūvio intensyvumą, prasideda širdies funkcijos apribojimai. Šio tyrimo tikslas – sinchronizuota šių sistemų adaptacijos prie fizinio krūvio analizė. Tyrime dalyvavo 27 savanoriai, sąlyginai sveiki vyrai. Visi tiriamieji atliko pakopomis, kas minutę, didėjančią fizinį krūvį veloergometru iki maksimalių pastangų. Krūvio metu ir pirmąsias tris atsigavimo minutes registruojome 12-kos standartinių derivacijų elektrokardiogramą. Analizuoti šie rodikliai: širdies susitraukimų dažnis, ST segmento depresija (suma 12-koje atvadų). Krūvio metu ir po jo deguonies išotinimas ir jo kitimas raumenyje buvo vertinamas neinvaziniu artimosios infraraudonosios spektroskopijos būdu (Hutchinson Technology, Hutchinson, Minnesota USA). Jutiklis tvirtinamas ant šlaunies keturgalvio raumens šoninės galvos (m. vastus lateralis). Tyrimo rezultatai parodė, kad deguonies išotinio kreivės kitimas yra glaudžiai susijęs su fizinio krūvio dydžiu. Pakopomis didinant krūvį, aktyviuosiuose raumenyse deguonies kiekis mažėja. Atliekant subjektyviai sunkias (paskutines) krūvio pakopas veloergometru, dalies tiriamųjų raumenyse deguonies išotinimas pakinta – prasideda deguonies išotinio laipsniškas didėjimas. Didėjant fizinio krūvio intensyvumui iki maksimalių pastangų, deguonies išotinio kreivės kilimas (antroji fazė) sutampa su didėjančiais išeminiais reiškiniais miokarde.

#### Įvadas

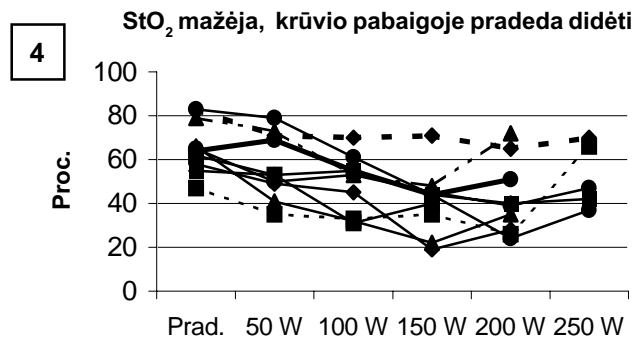
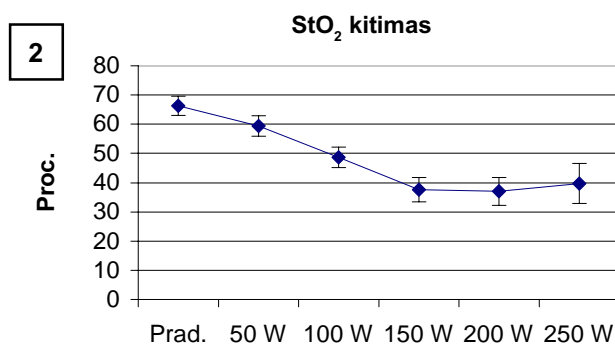
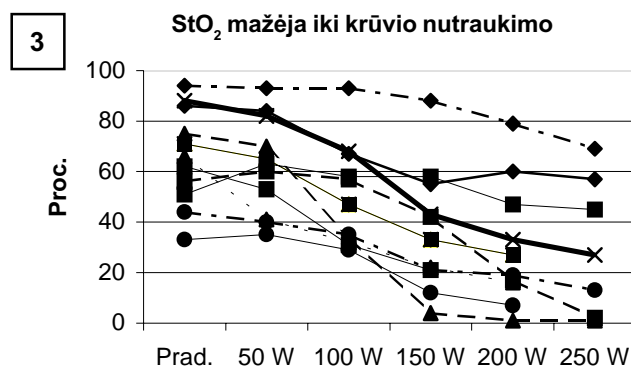
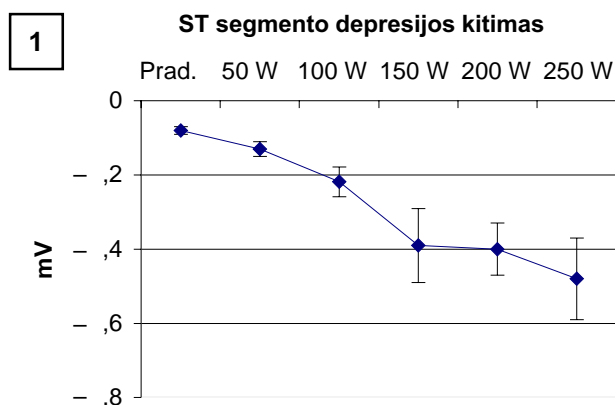
Širdies ir kraujagyslių sistema, jos funkcinis parengtumas yra labai svarbūs veiksniai, lemiantys organizmo greitosios ir ilgalaikės adaptacijos fiziniams krūviams ypatybes. Įrodyta, kad sveikata stiprinančių asmenų ir didelio meistriškumo sportininkų funkcinės būsenos kaitą krūvio metu lemiantys mechanizmai iš dalies skiriasi ir yra individualūs. Nesportuojantiems asmenims ištvėmės krūvio metu užfiksuota funkcinų išeminių reiškinų miokarde, o sportuojantiems asmenims greitojo jėgos rungčių metu užfiksuota tik nedidelio laipsnio funkcinų išeminių reiškinų, o ištvėmę lavinančių asmenų grupėje užrašytoje elektrokardiogramoje (EKG) jokių funkcinų išeminių reiškinų nerasta (1–4). Nepaisant daugybės mokslinių studijų, vis dar neišku, kaip ir kokia seka vyksta atskiri procesai, kai, nuolat didinant atliekamo krūvio intensyvumą, atsiranda širdies funkcijos apribojimai. Šio darbo tikslas – sinchronizuota šių sistemų prisitaikymo prie krūvio analizė.

Sportuojančiųjų širdies ir kraujagyslių sistemos funkcijai vertinti plačiai taikomi pakopomis didinami krūviai veloergometru, registruojant EKG ir arterinio kraujospūdžio pokyčius (2, 5–7). Deja, tokių tyrimų metu raumenų kraujotakos ar deguonies išotinio aktyviuosiuose raumenyse ypatybės retai vertinamos. Pastaraisiais metais atsirado galimybė neinvaziniu audinių spektroskopijos metodu tirti nepertraukiamai vykstančius deguonies kiekio pokyčius dirbančiame raumenyje (8). Audinių spektroskope naudojamos infraraudonosios šviesos bangos ilgis yra 650–1000 nm. Šie infraraudonieji spinduliai lengvai prasiskverbia per odą ir po odinius audinius. Deguonies išotinimas audinyje nustatomas šviesos kiekiu, kurį absorbuoja bei atspindi hemoglobinas. Šviesa sąlyginai lengvai prasiskverbia per audinius, tačiau deguonį atidavęs hemoglobinas ir deguonimi išotintas hemoglobinas absorbuoja skirtingą šviesos ilgį.

**Lentelė. Širdies kraujagyslių sistemos funkcinių rodiklių kitimas atliekant pakopomis didėjantį krūvį велоergometru bei atsigavimo metu**

Tyrimo etapai	ŠSD (tv/min.)	ST segmento depresija (suma, mV)	StO <sub>2</sub> (proc.)
Iki krūvio	86,5±2,4	-0,08±0,01	66,3±3,3
50 W krūvis	104,3±2,3	-0,13±0,02	59,3±3,5
100 W krūvis	120,2±2,4	-0,22±0,04	48,6±3,5
150 W krūvis	138,6±2,8	-0,39±0,10	37,6±4,1
200 W krūvis	154,8±2,8	-0,40±0,07	37,1±4,7
250 W krūvis	162,6±5,4	-0,48±0,11	39,7±6,7
1 min. po krūvio	130,2±3,8	-0,23±0,04	76,3±2,8
2 min. po krūvio	120,9±3,1	-0,22±0,04	80,0±2,6
3 min. po krūvio	112,4±3,4	-0,24±0,05	84,3±2,4

ŠSD – širdies susitraukimų dažnis



**Pav. Deguonies desaturacijos šlaunies keturgalvio raumens šoninėje galvoje ir elektrokardiogramos ST segmento depresijos kitimas atliekant pakopomis didėjantį krūvį велоergometru**

1 ir 2 – tiriamųjų grupės duomenų vidurkiai; 3 – pavyzdžiai, kai StO<sub>2</sub> mažėja iki krūvio pabaigos; 4 – pavyzdžiai, kai StO<sub>2</sub>, atliekant paskutines krūvio велоergometru pakopas, pradeda didėti.

#### Metodika

Tyrimo dalyvavo 27 sąlyginai sveiki savanoriai, neturintys sveikatos sutrikimų: amžius – 32,7±1,8 metų, ūgis – 180,9±0,03 cm, KMI – 25,3±0,6. Visi tiriamieji atliko pakopomis, kas minutę, didėjantį fizinį krūvį велоergometru, t. y. велоergometrą pradėdavo minti 50 W apkrova, 60 apsučių per minutę dažniu, krūvis buvo didinamas kas minutę po 50 W. Tiriamieji tęsdavo krūvį

iki maksimalių pastangų arba pirmųjų klinikinių požymių pasireiškimo pagal AHA (*Amerikos širdies asociacijos*) rekomendacijas. Po fizinio krūvio trijų minučių poilsis, t. y. sėdėjimas ant велоergometru.

Širdies funkciniams rodikliams vertinti naudota Kauno medicinos universiteto Kardiologijos institute sukurta elektrokardiogramos analizės sistema „Kaunas – krūvis“. Krūvio metu ir per pirmąsias tris minutes

atsigavimo registravome 12-kos standartinių derivacijų elektrokardiogramą. Buvo analizuojami šie rodikliai: širdies susitraukimų dažnis, ST segmento depresija (*suma 12-koje atvadų*). EKG analizės sistema apskaičiuodavo širdies kraujagyslių sistemos funkcinių rodiklių visų 12-kos EKG atvadų per 10 sek. registracijos intervalo reikšmių vidurkius.

Krūvio metu ir po jo deguonies išotinio pokyčiai raumenyje buvo vertinami neinvaziniu artimosios infraraudonosios spektroskopijos būdu naudojant fotojutiklį (*Hutchinson Technology, Hutchinson, Minnesota, USA*). Jutiklis buvo tvirtinamas ant šlaunies keturgalvio raumens šoninės galvos (*m. vastus lateralis*). Deguonies išotinio ( $\text{StO}_2$ ) laipsnis registruotas nepertaukiamai (matavimo duomenų vidurkiai prietaiso ekrane pateikiami kas 2,5 sek.) viso krūvio metu ir 3 minutes po krūvio.

### Rezultatai ir aptarimas

Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinių rodiklių bei  $\text{StO}_2$  pokyčiai, atliekant pakopomis kas minutę didėjančių krūvių велоergometru, pateikiami lentelėje. Registruotų EKG rodiklių vidutiniai dydžiai reikšmingai nesiskyrė nuo kitų tyrėjų pateikiamų analogiškų duomenų, kai būdavo tirti sveiki nesportuojantys asmenys. Širdies susitraukimų dažnis didėjo su kiekviena nauja krūvio pakopa, atitinkamai, kai krūvis tapdavo didelis, didėjo ST segmento depresija. Tyrimo duomenimis, didžiausios šių rodiklių reikšmės užregistruotos, kai krūvis buvo 250 W, širdies susitraukimų dažnis vidutiniškai buvo  $162,6 \pm 5,4$  tv/min.; ST segmento depresija –  $0,48 \pm 0,11$  mV).

Didėjant fiziniam krūviui,  $\text{StO}_2$  kreivė rodė ryškų deguonies kiekio dirbančio šlaunies keturgalvio raumens šoninėje galvoje mažėjimą. Tais atvejais, kai prieš krūvių  $\text{StO}_2$  buvo vidutiniškai  $66,3 \pm 3,3$  proc., tai tiriamajam minant велоergometro pedalus, krūvis buvo 200 W –  $37,1 \pm 4,7$  proc. Tokia  $\text{StO}_2$  mažėjimo tendencija registruota visiems tiriamiesiems tik iki tam tikro krūvio sunkumo. Kai krūvis subjektyviai tapo per didelis, išryškėjo individualios šio rodiklio kitimo ypatybės. Šiuo požiūriu tiriamuosius buvo galima suskirstyti į dvi grupes: a – tiriamieji, kai  $\text{StO}_2$  mažėjimas tęsėsi iki krūvio pabaigos (paveiksle trečiu numeriu pažymėtos kreivės); b – tiriamieji, kai  $\text{StO}_2$  mažėjo, bet krūvio pabaigoje pradėjo didėti (paveiksle ketvirtu numeriu pažymėtos kreivės).

Moksliniuose straipsniuose galima rasti vis naujų duomenų apie deguonies išotinio kitimo ypatybes raumenims atliekant įvairius fizinius krūvius. Nors lentelėje pateikti šio rodiklio bei kitų EKG rodiklių vidurkiai, bet jie nerodo tų centrinių ir periferinių kraujotakos reguliavimo mechanizmų sąsajų, kurios nuolat

kinta, kai kinta subjektyvus fizinio krūvio sunkumas iki maksimalaus. Todėl, vertindami tyrimo duomenis, išskyrėme ir individualias rodiklių kaitos fazes, vertinome rodiklių kaitos ypatybes: faziškumą ir atskirų rodiklių sąsajas. Remiantis šiais vertinimais, nustatėme tokius dėsningumus.

Pirma, didesniu darbingumu (atliko daugiau krūvio pakopų) pasižymėjo tiriamieji, kuriems nebuvo ryškių funkcinių išeminių reiškinų miokarde viso pakopomis didėjančio krūvio metu. Antra, didėjant atliekamo krūvio galingumui, deguonies išotinis dirbančiame raumenyje mažėjo ( $\text{StO}_2$  kreivė nuolat mažėjo), tačiau kai tiriamieji pasiekė maksimalų krūvi, t. y. 250 W, nustatėme, kad daliai tiriamųjų  $\text{StO}_2$  kreivė jau pradėjo kilti, t. y. deguonies trūkumas šlaunies keturgalvio raumens skaidulose mažėjo. Tokia šio rodiklio kaita gali būti paaiškinta periferinės kraujotakos kaitos ypatybėmis, taip pat glaudžiomis sąsajomis tarp periferinių ir centrinių kraujotakos reguliavimo mechanizmų. Kiti mokslininkai (2, 9), vertindami raumenų kraujotakos kaitos ypatybes велоergometrinio krūvio metu, nustatė, kad, didėjant fizinio krūvio intensyvumui iki maksimalaus, išryškėjo periferinių kraujagyslių vazodilatacija ir labai suintensyvėjusi kraujotaka blauzdoje atliekant paskutines, subjektyviai labai sunkias krūvio pakopas, o tai rodo širdies raumens darbingumo didėjimo ribą ir atitinkamai – kompensacinių mechanizmų ištraukimą į šį procesą. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad raumenų deguonies išotinio antroji fazė buvo registruojama būtent tiems tiriamiesiems, kuriems atsirado ryškių funkcinių išeminių reiškinų miokarde, ir atvirkščiai – antrosios deguonies išotinio fazės neužfiksuota tiriamiesiems, kuriems nepastebėta reikšmingo ST segmento depresijos padidėjimo. Elektrokardiogramos ST segmento dislokacija krūvio metu susijusi su išeminių reiškinų atsiradimu miokarde ir tokius trumpalaikius ST segmento nukrypimus rekomenduojama vertinti kaip funkcinius išeminius pokyčius (5, 6, 10, 11). Tokių funkcinių išeminių reiškinų atsiradimas ir didėjimas fizinio krūvio metu gali būti organizmo darbingumo, parengtumo ir funkcinės būklės rodiklis. Daugelio autorių duomenimis (2–4, 12), didelio meistriškumo sportininkų elektrokardiogramoje dažnai neužfiksuojama reikšmingų ST segmento pokyčių tiek aerobinių, tiek anaerobinių krūvių metu. Tyrėjai daro išvadą, kad adaptacijos fiziniams krūviams pobūdis ir jos laipsnis lemia sportininko darbingumą ribojančių veiksnių struktūrą – didelio meistriškumo sportininkams netgi sunkių fizinių krūvių metu funkciniai išeminiai reiškiniai miokarde nėra darbingumą ribojantis veiksnys. Ši ypatybė būdingesnė ištvermės sporto atstovams. Neabejojama, kad ištvermės sportininkai pasižymi didesniais aerobinio

darbingumo rodikliais nei greitumo jėgos grupės sportininkai. Tą konstatavo daugelis tyrinėtojų (3, 13–15), pažymėdami, kad geresnio funkcinio parengtumo asmenys pasižymi aprūpinimo sistemų funkcijos ekonomišku.

Kraujotakos pokyčiai nuolat „registruojami“ receptorių, išsidėsčiusių įvairiose širdies ir kraujagyslių sistemos vietose. Aferentiniais impulsais iš šių receptorių siunčiama informacija patenka į pailgosiose smegenyse esančius vazomotorinius centrus, iš kur eferentinėmis skaidulomis siunčiamais impulsais yra reguliuojamas širdies darbas ir įvairių kūno kraujagyslių tonusas. Šio tyrimo duomenimis, registruojamas deguonies desaturacijos kreivės pokytis yra glaudžiai susijęs su fizinio krūvio dydžiu. Kitų tyrėjų duomenimis (16–18), deguonies įsotinimo kaitos vertinimas aktyviuosiuose raumenyse rodo periferinių kraujagyslių vazodilataciją ar vazokonstrikciją. Šio tyrimo duomenimis, didėjant fizinio krūvio intensyvumui iki maksimalaus,  $StO_2$

kreivės kilimas (antroji fazė) sutapo su besiribojančiu širdies darbingumu. Taigi infraraudonosios spektroskopijos metodu registruojami rodikliai suteikia galimybę tiksliau įvertinti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę, t. y. įvertinti centrinių ir periferinių bei kraujotakos reguliavimo rodiklių sąsajas.

### Išvados

1. Deguonies įsotinimo kitimas yra glaudžiai susijęs su fizinio krūvio dydžiu. Pakopomis didėjant krūviui, aktyviuosiuose raumenyse deguonies kiekis mažėja.

2. Atliekant subjektyviai sunkias (paskutines) krūvio pakopas veloergometru, dalies tiriamųjų raumenyse deguonies įsotinimo mažėjimą pakeičia atvirksčias procesas – prasideda deguonies įsotinimo palaipsnis didėjimas.

3. Didėjant fizinio krūvio intensyvumui iki maksimalaus, deguonies įsotinimo kreivės kilimas (antroji fazė) sutampa su didėjančiais išeminiais reiškiniais miokarde.

## Characteristics of changes in oxygen saturation in muscular tissue and ischemic episodes in cardiac muscle during the bicycle ergometry

Vytautas Poškaitis, Birutė Miseckaitė<sup>1</sup>, Eurelija Venskaitytė<sup>1</sup>,  
Jonas Poderys<sup>1</sup>, Alfonsas Vainoras

*Kaunas University of Medicine, <sup>1</sup>Lithuanian Academy of Physical Education, Lithuania*

**Key words:** physical work capacity; cardiovascular system; oxygen saturation.

**Summary.** There is a strong need for more studies devoted to the analysis of changes in physiological processes during the incremental bicycle exercise when increasing the intensity of physical activity, serious ischemic episodes in cardiac muscle occur.

*The aim of this study* was a synchronous observation of physiological changes during bicycle ergometry. Participants of the study were 27 healthy male volunteers. All participants of the study performed a graded exercise test to maximal efforts. A 12-lead electrocardiogram was recorded during exercise test and the first three minutes of recovery. Heart rate and ST-segment depression (sum of negative amplitudes) was analyzed. InSpectra Standad System Model 325 (Hutchinson Technology, Hutchinson, Minnesota, USA) was used for the registration of changes in oxygen saturation during exercise and recovery. The InSpectra sensor was placed on *m. vastus lateralis*.

The results obtained in this study showed that changes in oxygen saturation depended on the intensity of workload. During the incremental increase in workload, oxygen saturation decreased in active muscles. While performing the final stages of exercise, a gradual increase in oxygen saturation is observed in the muscles of some participants. Increasing the intensity of physical activity to maximal efforts, rise in oxygen saturation (second phase) coincides with augmentative ischemic episodes in cardiac muscle

Correspondence to A. Vainoras, Department of Kinesiology and Sports Medicine, Kaunas University of Medicine, A. Mickevičiaus 9, 44307 Kaunas, Lithuania. E-mail: alfonsas.vainoras@med.kmu.lt

### Literatūra

- Noakes T. Quality issues in the exercise sciences. 12th Commonwealth International Sport Conference. Manchester; 2002. p. 7-13.
- Poderys J. Širdies ir kraujagyslių sistemos greitosios ir lėtosios adaptacijos savybės atliekant fizinius pratimus. (Acute and chronic adaptation peculiarities of cardiovascular system during physical exercising.) [dissertation]. Kaunas: LKKA; 2000. p. 103.
- Poderys J. Acute and chronic adaptation of cardiovascular

- function to sprint or endurance training. Education, Physical Training, Sport 2002;3:44-8.
4. Buliuolis A, Trinkūnas E, Snarskaitė R, Poderys J. Didelio meistriškumo sportininkų ir nesportuojančių asmenų širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinės būklės kaita atliekant aerobinius ir anaerobinius krūvius. (Functional state of cardiovascular system in high skilled athletes and non-athletes in performing of aerobic and anaerobic loads.) Sporto mokslas 2003;1(31):56-61.
  5. Vainoras A. Investigation of the heart repolarization process during rest and bicycle ergometry. (100-lead and standard 12-lead ECG data.) [dissertation]. Kaunas: KMU; 1996.
  6. Vainoras A. Functional model of human organism reaction to load – evaluation of sportsman training effect. Education, Physical Training, Sport 2002;88-93.
  7. Žumbakytė R. Assessment of functional conditions peculiarities of basketball and football players applying the model of integral evaluation [dissertation]. Kaunas: KMU; 2006; p. 30.
  8. Mancini DM, Bolinger L, Li H, Kendrick K, Chance B, Wilson JR. Validation of near-infrared spectroscopy in humans. J Appl Physiol 1994;77(6):2740-7.
  9. Poderys J, Vainoras A, Žilinskas V, Trinkūnas E, Jasiūnas V, Šilanskienė A. Comparison of the cardiovascular function and hemodynamics of calf muscles during exercise test. Lithuanian Journal of Cardiology 1999;6:832-6.
  10. Yazigi A, Richa F, Gebara S, Haddad F, Hayek G, Antakly MC. Prognostic importance of automated ST-segment monitoring after coronary artery bypass graft surgery. Acta Anaesthesiol Scand 1998;42(5):532-5.
  11. Jernberg T, Lindahl B, Wallentin L. ST-segment monitoring with continuous 12-lead ECG improves early risk stratification in patients with chest pain and ECG nondiagnostic of acute myocardial infarction. J Am Coll Cardiol 1999;34(5):1413-9.
  12. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations predict or enhance athletic performance. Scand J Med Sci Sports 2000;10:123-45.
  13. Delp MD. Differential effects of training on the control of skeletal muscle perfusion. Med Sci Sports Exerc 1998;30:361-74.
  14. Noakes TD, Peltonen JE, Rusko HK. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. J Exp Biol 2001;204:3225-34.
  15. Čepulėnas A. Slidininkų rengimo multidisciplininiai pagrindai. (Multidisciplinary basics of skiing sportsmen training process management.) [dissertation]. Vilnius: VU; 2001. p. 135.

*Straipsnis gautas 2007 02 15, priimtas 2007 05 18*

*Received 15 February 2007, accepted 18 May 2007*