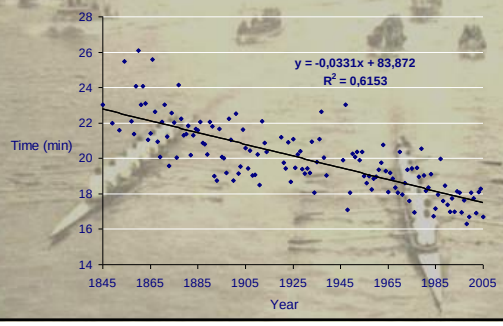
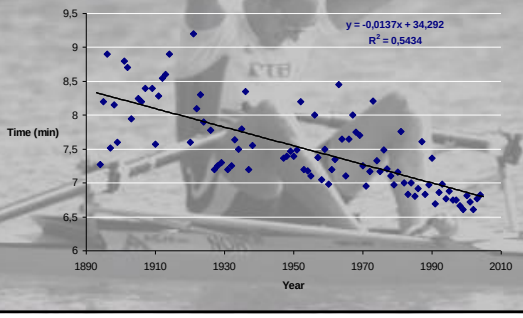
SÕUDJATE BIOLOOGILINE ARENG

Jaak Jürimäe

Oxford-Cambridge Boat Race
Winning Times 1845-2005



FISA Men's championship 1x
Winning Times 1894-2004



Mis määravad võistlustulemust ja kuidas nad on muutunud?

Kuidas saavutatakse edasine tulemuse paranemine?

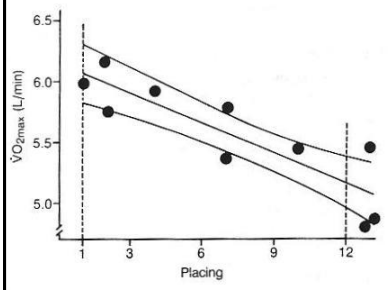
Sõudjate kinantropomeetrilised iseärasused

- Distantsi kestus ~ 6-8 minutit
- Keha mass paadis toetatud
- Aeru geomeetria tingib suhteliselt madala tempo ja suure tõmbepikkuse
- Suur veetakistus tingib paadi kiiruse järsu languse tõmmete vahel

Need faktid esitavad suured nõudmised:

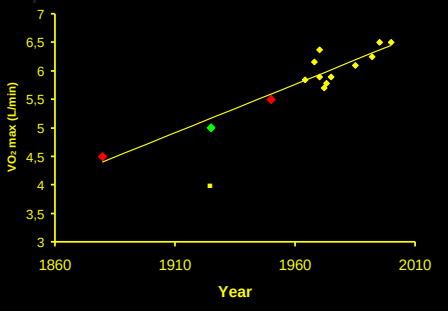
- **Maksimaalse aeroobse võimekuse osas**
- Keha ja jäsemete pikkuse ja koostise osas
- Lihasjõu ja anaeroobse võimsuse osas

1970s - VO_2 max vs koht võistlustel



From Secher NH. Rowing. Physiology of Sports (ed. Reilly et al) pp 259-286. 1971

Maksimaalse hapniku tarbimise areng



"Typical World Class" XC skiers

6.3 L/min, 75 kg,
85 ml/kg/min
270 ml/kg$^{0.73}$/min

Allometrically equivalent rower?

7.5 L/min, 95kg, (do they exist?)
79 ml/kg/min,
270 ml/kg$^{0.73}$/min

Development of maximal oxygen consumption (VO2max), ventilation and maximal aerobic power (Pmax) of the elite rower from junior to senior A level.

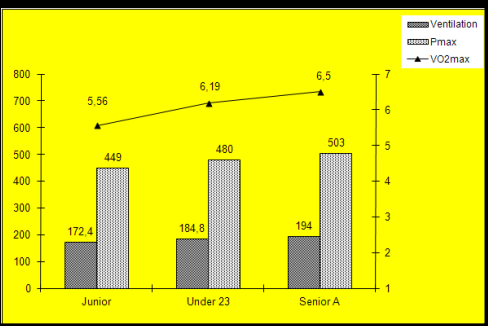


Table 2. Mean (±SD) characteristics of the rowers selected (SEL; n=6) and not selected (N-SEL; n=5) for the national team.

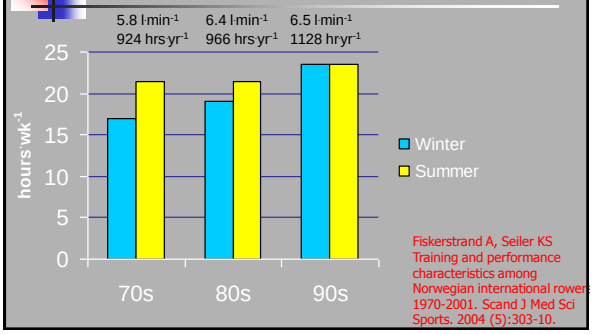
Measurements	Baseline SEL	Baseline N-SEL	24 weeks SEL	24 weeks N-SEL
Height (cm)	192.0±6.3	194.8±4.1	192.3±6.1	194.8±4.1
Weight (kg)	93.5±7.1	89.6±4.0 $	93.5±7.1	90.6±5.4
Body fat (%)	10.8±3.0	9.4±1.3	9.4±2.0 &	9.1±1.2
Fat mass (kg)	9.6±3.1	8.0±1.2	8.2±1.8 &	7.7±1.0
Fat free mass (kg)	83.9±5.8	81.9±3.3	85.3±6.8 &	82.9±5.0
VO_{2max} (l.min^{-1})	6.4±0.4	6.0±0.5 $	6.5±0.5	6.3±0.7 &
Pa_{max} (W)	461.8±33.9	420.0±38.4 $	478.7±24.4	450.6±20.9 $
2000-m sculling (s)	434.5±8.0	446.4±4.7 $	435.9±9.2	449.5±1.6 $

$ Significantly different from SEL; P<.05.
& Significantly different from baseline; P<.05.

Tabel 1. **Norra tiitlivõistluste medalivõitjate üldiseloomustus**

	1970-1979	*1980-1989*	*1990-2001*
N	9	6	8
Pikkus (cm)	191	192	191
Keha mass (kg)	89	87	89,5
VO_{2max} (l.min^{-1})	5,8	6,4*	6,5*
95% CI	5,7-6,0	6,2-6,55	6,1-6,9
Parim tulemus	6,3	6,5	7,15

Developments in training over 3 decades



Fiskerstrand A, Seiler KS Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. Scand J Med Sci Sports. 2004 (5):303-10.

Mon	8:00	Weights	120 min	
	10:00	Row	70 min Steady state in pairs	HR 144-148
	4:00	Row	100 min Steady state in pairs	HR 140-144
Tues	8:00	Row	2 x 5x5 min ON/1 min OFF in pairs	HR 180-185
	10:30	Erg	12 kilometers	HR 150
	4:00	Row	100min Steady state in eight	
Wed	8:00	Weights	120 min	
	10:00	Run	3 x 10 laps	160-175
	4:00	Row	100min steady in eight	140-148
Thurs	8:00	Row	2 sets 12 x 20 power strokes in eight	
	10:30	Erg	75 min (about 17500m)	140-148
	4:00	Erg	3 x 20 min	140-148
Fri	8:00	Weights	120 min	
	10:30	Erg	15 km	140-160
	3:30	Row	90 min steady state in eight	144-170
Sat	9:00	Row	90 min steady state in eight	140-160
	3:00	Row	90 min steady state in four	144-170
Sun	9:00	Row	3 sets 4 x 4 min ON/1 min OFF in pairs	180-190

US National Team training during peak loading period (1990s)

3 sessions/day
30+ hr/wk

Tabel 2. Aastane treeningumahu suurenemine

Aasta	**Treeningumaht (tundi aastas)**
1	500
2	550
3	605
4	665
5	732

Four-Day Test Series

Jensen 2005

Test series	Stroke rate	Day to perform	Test focus	Reference values (%)
1. 10 s	Max	Day 1	Muscle power	173±22
2. 6 km	26-28	Day 1	Aerobic capacity	85±3
3. 2 km	30-36	Day 2	Aerobic power	100
4. 60 s	Max	Day 3	Anaerobic capacity	153±10
5. 60 min	22-24	Day 4	Aerobic capacity, endurance	76±4

Sõudmises esitavad suured nõudmised:

- **Keha ja jäsemete pikkuse ja koostise osas**
- Lihasjõu ja anaeroobse võimsuse osas
- Maksimaalse aeroobse võimekuse osas

Antropomeetria

- Sõudmises sõltub võistlustulemus suurel määral keha suurusest ja massist.
- On teada, et paljudel spordialadel nagu ka sõudmises sõltub edukus lihasmassi suhtest keha massi.
- Kui kõik muud bioloogilised näitajad on võrdsed, on eelis suurema lihasmassiga sõudjal.
- Sõudmises kasutatakse umbes 70% kõigist lihastest, aktiivsed on nii jala-, selja-, kõhu-, õla- kui ka käelihased.

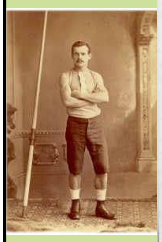
Antropomeetria

- Sealjuures ei lihasgruppide absoluutsed jõunäitajad seotud usutavalt võistlustulemustega.
- Võistlustulemuse saavutamisel on suur tähtsus jõul, mida suudetakse rakendada aeru taha igal tõmbel, seega jõuvastupidavusel.
- Jõuvastupidavus on aga seotud keha suuruse ja massiga.

Antropomeetria

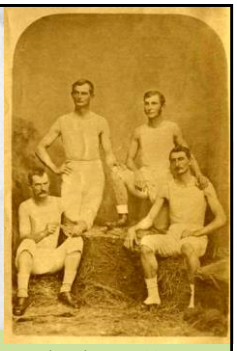
Tabel 1 USA rahvuskoondise kandidaatide antropomeetrilised näitajad.

Kategooria	Vanus (a)	Pikkus (cm)	Keha mass (kg)
MEHED			
Normaalkaal	24,9	194,0	95,0
Kergekaal	26,6	184,0	73,6
NAISED			
Normaalkaal	26,4	180,0	74,9
Kergekaal	29,0	170,0	59,4



Ned Hanlan ca 1880
173cm
71kg

Biglin Brothers ca 1865
180cm? 75-80kg?



Ward Brothers ca 1865
185cm?
80+kg?

Physical characteristics of rowers in 19th century.

Yale University Crew, Winner of the Olympic Games, Paris, 1924.

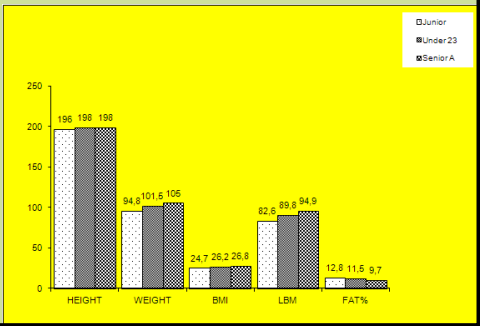
Average height: 185 cm
Average body mass: 82 kg

Henderson, Y and Haggard, H.W.
American J. Physiology. 72, 264-282, 1925

Taller Population= Taller Elite Rowers

Oxford Crew-2005
Average Height: 197cm
Average Body Mass: 98.3 kg

Development of anthropometric parameters of the elite rower from junior to senior A level.



Physical characteristics of USA men`s elite eight-oared crews

	age	height	weight	body fat
1972	23.8	189.4	87.4	12.3
1977	21.4	193.1	91.2	11.5
1982	22.8	194.3	90.2	9.3
1987	23.1	195.0	88.2	8.5
1992	24.2	195.8	92.0	8.6
1997	23.1	196.3	94.1	8.9

Body-Size Requirements

The average elite male heavyweight rower:

Height: 197 cm (185 cm for women);

Weight: 95 kg (85 for women);

Body fat: < 8 % or 7.6 kg (14 % or 11.9 kg for women).

75 % of the muscle mass (30 kg or 1/3 of body mass) is used in rowing.

Physical characteristics of elite rowers

Jensen 2005

Mean (±SD)	Height (cm)	Body mass (kg)
Men, open class	1.94±0.06	87.8±2.8
Men, lightweight	1.83±0.05	76.7±3.4
Women, open class	1.82±0.05	79.0±6.0
Women, lightweight	1.72±0.04	61.1±2.4

Prediction of rowing performance from anthropometric and metabolic variables in lightweight and heavyweight male rowers

AIM:

To develop rowing performance prediction models for lightweight and heavyweight rowers utilising measured anthropometric and metabolic characteristics.

Metabolic tests

Maximal oxygen consumption (VO_{2max}; Pa_{max} and AT);

2500 m rowing ergometer performance;

Anaerobic alactic (P5) and anaerobic lactic (P20) power.

Anthropometric tests

- Height (cm);
- Body mass (kg);
- BMI (kg/m²);
- Sum of 6SF (cm);
- %Body fat;
- LBM (kg);
- Muscle mass (kg);
- Skeletal mass (kg);
- CSA thigh (cm²).

Correlations between rowing ergometer performance time and anthropometrical variables in lightweight and heavyweight rowers.

Variable	Lightweight rowers (n = 8)	Heavyweight rowers (n = 13)
Height (cm)	-0.50	-0.21
Body mass (kg)	-0.65	-0.55
BMI ($kg.m^{-2}$)	0.04	-0.28
SUM6SF (mm)	0.55	0.12
% body fat (%)	0.76*	-0.03
LBM (kg)	-0.91*	-0.67
Muscle mass (kg)	-0.67	-0.81*
Skeletal mass (kg)	-0.55	-0.40
CSA thigh (cm^2)	-0.35	-0.88*

* - statistically significant, $p<0.05$

Correlations between rowing ergometer performance time and metabolic variables in lightweight and heavyweight rowers.

Variable	Lightweight rowers (n = 8)	Heavyweight rowers (n = 13)
P5 (W)	-0.80*	-0.93*
P20 (W)	-0.98*	-0.91*
AT (W)	-0.06	-0.76*
Pa_{max} (W)	-0.95*	-0.93*
VO_{2max} ($l.min^{-1}$)	-0.92*	-0.68*
$VO_{2max/kg}$ ($ml.min.^{-1}kg^{-1}$)	-0.83*	-0.07

* - statistically significant ($p<0.05$)

Multiple regression equations for the individual physiological categories and the overall best predictor multiple regression equations in lightweight rowers.

	Multiple regression equation	R, SEE
Anthropometric LBM (kg) %body fat (%)	Time (sec) = 635.137 – 2.393 x LBM + 7.202 x %body fat	51.2% 14.2 sec
Metabolic P20 (W) VO_{2max} (l/min)	Time (sec) = 701.882 – 0.245 x P20 – 9.766 x VO_{2max}	99.2% 1.8 sec
Combination of categories P20 (W) VO_{2max} (l/min)	Time (sec) = 701.882 – 0.245 x P20 – 9.766 x VO_{2max}	99.2% 1.8 sec

Multiple regression equations for the individual physiological categories and the overall best predictor multiple regression equations in heavyweight rowers.

	Multiple regression equation	R, SEE
Anthropometric Muscle mass (kg) CSA thigh (cm^2)	Time (sec) = 654.331 – 1.767 x muscle mass – 0.215 x CSA thigh	57.5% 8.8 sec
Metabolic AT (W) P20 (W)	Time (sec) = 565.896 – 0.114 x AT – 0.046 x P20	57.3% 8.8 sec
Combination of categories Muscle mass (kg) AT (W)	Time (sec) = 606.695 – 1.359 x muscle mass – 0.116 x AT	61.5% 8.4 sec

Järeldused

- **Kergekaalu sõudjate võistlustulemust iseloomustavad kõige paremini ainult metaboolsed (P20, VO_{2max}) näitajad;**
- **Raskekaalu sõudjate võistlustulemust iseloomustavad kõige paremini nii kinantropomeetrilised (lihasmass) kui ka metaboolsed (anaeroobne lävi) näitajad.**

Antropomeetria

Tabel 1 Eliitsõudjate antropomeetriliste parameetrite võrdlus.

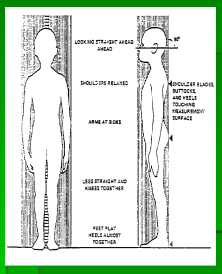
Keha dimensioonid	Normaalkaal (n=65)	Kergekaal (n=44)	Juuniorid (n=382)
Pikkus (cm)	191,3	180,7	187,4
Keha mass (kg)	90,0	70,3	82,2
Istepikkus (cm)	99,7	93,8	96,8
Jalapikkus (cm)	91,7	87,6	90,7
Õlavarre ümbermõõt (cm)	-	30,7	32,9
Käevarre ümbermõõt (cm)	30,3	25,6	28,6
Reie ümbermõõt (cm)	60,3	51,0	57,9
Sääre ümbermõõt (cm)	39,3	34,4	37,7
Kolmpealihase nahavolt (mm)	8,4	5,5	7,9
Abaluualune nahavolt (mm)	8,7	8,0	8,9
Reie nahavolt (mm)	10,8	8,0	11,5
Sääre nahavolt (mm)	6,3	5,4	8,4

Antropomeetria

1997. aasta Hazewinkeli juunioride maailmameistrivõistluste finalistide ja finaali mittepääsenud meessõudjate antropomeetrilised parameetrid (Bourgois jt. 2000 järgi)

Keha dimensioonid	Finalistid (n=65)	Mittefinalistid (n=44)
Pikkus (cm)	189,3	186,3
Keha mass (kg)	84,8	80,6
Istepikkus (cm)	97,6	96,2
Jalapikkus (cm)	91,6	90,1
Käepikkus (cm)	83,7	82,4
Küünarnuki laius (cm)	7,7	7,6
Põlve laius (cm)	10,4	10,2
Õlavarre ümbermõõt (cm)	33,5	32,6
Käevarre ümbermõõt (cm)	29,1	28,2
Reie ümbermõõt (cm)	58,7	57,5
Sääre ümbermõõt (cm)	38,1	37,5
Kolmpealihase nahavolt (mm)	7,5	8,2

Antropomeetria



Lihtsaimateks näitajateks on keha pikkus ja kehamass.

Rosscraft Innovations Centurion Kit

Antropomeetria

Täpsemate andmete saamiseks mõõdetakse erinevaid nahavoltide paksusi, ümbermõõte, luude pikkusi ja luude laiusi.

Rosscraft Innovations Centurion Kit

International Society for the Advancement of Kinanthropometry

ISÅK

Antud metoodika alusel mõõdetakse:

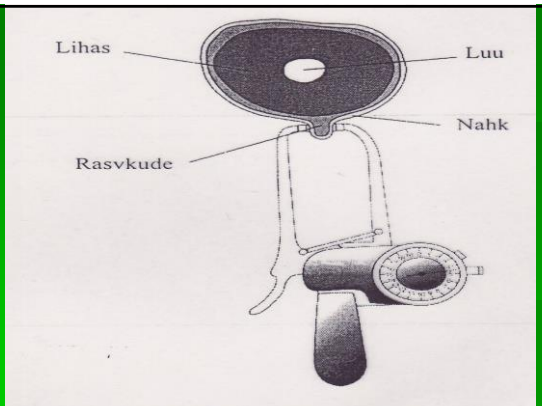
- 9 nahavoldi paksus;
- 13 ümbermõõtu;
- 8 luude pikkust;
- 8 luude laiust e. diameetrit.

Kõik mõõtmised teostatakse keha paremalt poolelt.

- www.isakonline.com

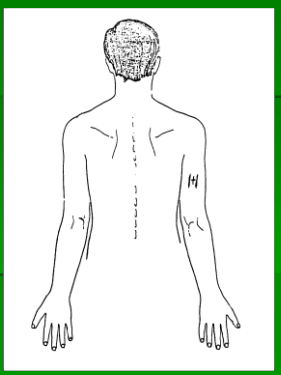
Nahavoltide paksuste mõõtmine

Slim Guide ja Harpenden nahavoldi kaliiber



Joonis 12.3. Nahavoldi paksuse mõõtmine.

Triceps



Ümbermõõdud

Wrist

Waist (minimum)

Arm (relaxed)

Arm (flexed and tensed)

Luude pikkused

Acromiale-radiale

Tibiale-laterale to floor

Luude diameetrid

Biacromial

A-P chest depth

Campbell 10 väike luukaliiber

Bioelektrilise takistuse määramine

Meetod põhineb asjaolul, et madala sagedusega elektrivoolu takistus on ekvivalentne kehas oleva vee hulgaga, sealhulgas rasvkoes sisalduv vee hulk on minimaalne.

Kogu keha takistus, mõõdetuna standardsel sagedusel 50 kHz, on otseselt seotud kehavedeliku hulgaga.

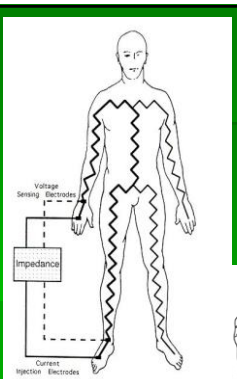
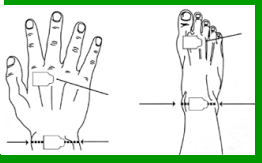


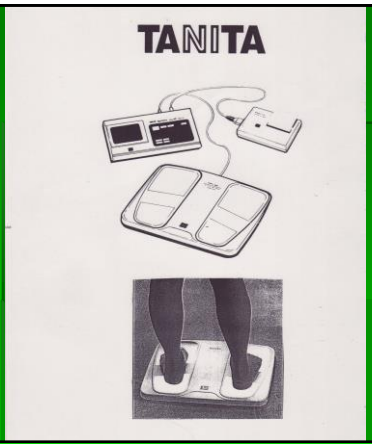
Figure 5.4 Standard placement of electrodes for whole-body impedance measurements.

- Elektroodid asetatakse vastavalt instruktsioonile paremale käele ja paremale jalale.



Bioelektrilise takistuse määramine

- Keha takistust saab määrata multisagedusliku BIA aparaadiga MULTISCAN 5000, BODYSTAT Ltd, Suurbritannia.

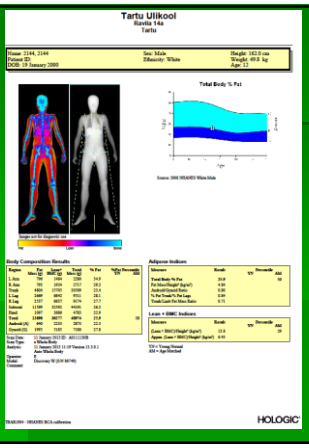


Tabel 1. Keha rasvaprotsendi standardid meestele ja naistele (Lohman 1992).

	Mehed	Naised
Terviserisk	≤ 5%	≤ 8%
Keskmisest madalam	6-14%	9-22%
Keskmine	15%	23%
Keskmisest suurem	16-24%	24-31%
Terviserisk	≥25%	≥32%

Tabel 1. Suhtelised keha rasvasisalduse väärtused erinevas vanuses naistel ja meestel.

Vanusegrupp (aastat)	Keha rasvaprotsent	
	Naised	Mehed
15-19	20-24	13-16
20-29	22-25	15-20
30-39	24-30	18-26
40-49	27-33	23-29
50-59	30-36	26-33
60-69	30-36	29-33



Tabel 1. Sõudjate keha koostis (n=20).

Variable	Mean±SD
Age (yrs)	19.0±2.9
Height (cm)	185.6±4.8
Body mass (kg)	85.2±10.7
Body fat (%)	17.1±5.1
Total FM (kg)	15.1±6.0
Total FFM (kg)	68.0±6.3
Legs FFM (kg)	23.8±2.7
Arms FFM (kg)	8.8±1.1

Uuring:

Sama tasemega keskmaajooksjate sääre pikkus on suurem võrreldes pikamaajooksjatega ning sääre massi suhe reie massi iseloomustab kõige paremini keskmaajooksjate võistlustulemust.

Pärilikkuse mõju võistlustulemusele

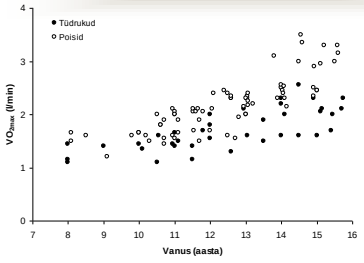
Tippujujatel on keha pikkuse kohta väga suur jalanumber: Peter van den Hoogeband (52), Ian Thorpe (52), Michael Phelps (48).

Samas Michael Phelpsil on 193 cm pikkuse juures väga lühikesed jalad (*reie sisekülg 83 cm*), mis tähendab suhteliselt pikka keret. See annab talle eelise ujumises erinevalt jooksust.

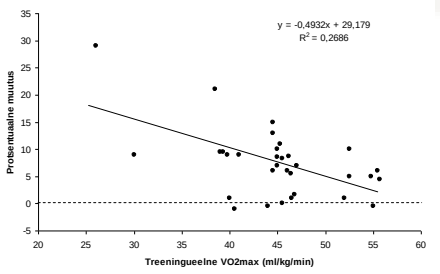
Hicham El Guerrouj (1500 m olümpiavõitja) on vaid 175 cm pikk, kuid *reie sisekülg* uskumatult pikk*: 92 cm* (Neeser 2009).

Tabel 2.1. Pärilikkuse mõju erinevatele organismi funktsioonidele, struktuuridele ja kehalisele töövõimele (Neeser 2009 järgi).

Parameeter	*Pärilikkuse efekt*
Pikkus, kätepikkus	Suur
Lihaste suurus	Suur
Lihaskiu kompositsioon (kiired-aeglased)	Suur
Südame suurus	Suur
Kopsude suurus ja maht	Suur
Puhkeoleku südme löögisagedus	Suur
Vererõhk	Keskmine
Lihasjõud	Keskmine
Lihasvastupidavus (kätekõverdused, lõuatõmbed)	Keskmine/suur
Tasakaal	Väike
Liigeste liikuvus	Suur
Liigutuste täpsus	Väike/keskmine
Aeroobne vastupidavus	Keskmine
Anaeroobne võimsus	Suur
Kohanemine treeninguga	
Jõud	Väike
10 s võimsus jalgrattal	Väike
90 s võimsus jalgrattal	Suur
Aeroobne vastupidavus	Keskmine/suur



Joonis 2.8. Maksimaalne hapnikutarbimine (VO2max) erinevas vanuses lastel (Armstrongi ja Welsmani 2007 järgi).



Joonis 2.7. Treeninguga kaasnevad muutused laste ja noorukite maksimaalses hapnikutarbimises sõltuvalt näitaja algtasemest (Mahoni 2008 järgi).

Suhteline vanuseefekt

- Uuringud on näidanud, et noorte spordis edu saavutavatud laste kehalised parameetrid ei ole saavutatud treeningutega, vaid määravaks on saanud ka laste sünnikuupäev (Baxter-Jones jt. 2005).
- Nii näiteks on edukad ujujad, jalgpallurid ja tennisistid sündinud antud vanuseklassi puhul enamuses aasta esimesel kolmel kuul, omades seega vanusest tingituna bioloogilist eelist antud vanuseklassi aasta kolmel viimasel kuul sündinud noorte ees (Baxter-Jones jt. 1995).
- Seda nimetatakse *suhteliseks vanuseefektiks* ja see on iseloomulik nii noorte eliitspordile kui ka koolispordile ning eriti spordialade puhul, kus on olulised suured keha mõõtmed ja jõunäitajad (McManus & Armstrong 2008).

Suhteline vanuseefekt

Suhteline vanuseefekt avaldab suurt mõju ka nooruki edasisele sportlikule karjäärile, sest sageli toimub valik koondistesse ning paremate treeningutingimuste loomine neile, kelle sportlikud tulemused on antud hetkel paremad.

Näiteks on leitud, et Kanada juuniorite jäähokikoondises on 78% koondislastest sündinud aasta esimesel poolel (Sherar jt. 2007).

Suhteline vanuseefekt

- Lapse kronoloogiline vanus on üheks näitajaks, mis mõjutab tema selekteerumist tipptasemel noortespordis, ning see on üheks faktoriks isegi täiskasvanute spordis.

Ligikaudu 40% Inglise kõrgliiga jalgpalluritest on sündinud aasta esimeses kvartalis (McManus & Armstrong 2008).

Suhteline vanuseefekt

- Inglismaal uuriti 6 aasta jooksul 103 poissi vanuses 14 aastat, kes pääsesid jalgpalliklubide eliitkooli, ning leiti, et neist 65% olid sündinud aasta esimses kvartalis ning vähem kui 2% aasta viimases kvartalis (McManus & Armstrong 2008).

Suhteline vanuseefekt

Tuleb arvestada, et aasta esimses kvartalis sündinud lapsed ei pruugi olla talendikamad, vaid nad on bioloogiliselt rohkem küpsenud, omades seega eelist sama vanade, kuid aasta viimases kvartalis sündinud poiste ees (McManus & Armstrong 2008).

Seega on laste spordis üks peamine mureküsimus võimalikult õiglaste vanuseklasside loomine, kus suhteline vanuseefekt mängiks võimalikult väikest rolli.

Bioloogiline küpsemine ja kehaline areng

NÄIDE:

Üks poiss kronoloogilise vanusega 13,5 aastat on 171 cm pikk ja 60 kg raske ning tema käelihase jõud on 65 kg.

Teine poiss kronoloogilise vanusega 13,5 aastat on 150 cm pikk ja 40 kg raske ning tema käelihase jõud on 32 kg.

Mõlemad võistlevad samas vanuseklassis, kuid võivad erineda bioloogilise vanuse poolest ning täiskasvanuna on nende kehalised näitajad võrdsed.

THANK YOU!