

LEO PAVIČIĆ
MLADEN MEJOVŠEK
Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu

Izvorni znanstveni članak
UDC 577.3:572.5
Primljeno 8. 10. 1985.

NEKE MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA BIO-MEHANIČKOG MODELA LJUDSKOG TIJELA

biomehanički model / antropometrija / dimenzije tijela / građa tijela / segmentalni parametri / gustoća / volumen / studenti fizičke kulture

U prostoru antropometrijskih mjera dobivena su četiri faktora koji su, u skladu sa sličnim istraživanjima, interpretirani kao longitudinalna dimenzionalnost skeleta, masno tkivo, transversalna dimenzionalnost skeleta i cirkularna dimenzionalnost tijela. U prostoru segmentalnih parametara dobiveno je osam faktora od kojih su tri definirana kao latentna (longitudinalna, transversalna i cirkularna dimenzionalnost), a pet kao topološka svojstva tijela (trup, stopalo, glava, natkoljenica, šaka). Kanoničke relacije ukazuju na visoku povezanost oba prostora, koja se posebno očituje u prva dva para kanoničkih faktora u manifestnom i prvog kanoničkog para u latentnom prostoru.

1. PROBLEM

Na osnovu iskustva modeliranja ljudskog tijela u biomehanici moguće je identificirati kao osnovni otvoreni problem utvrđivanje mase, odnosno težine segmenata. Iako su raspoložive tehnike određivanja volumena segmenata uglavnom zadovoljavajuće, neki istraživači (3) nastoje ipak dobiti bolju aproksimaciju modela sofisticiranijim izračunavanjem volumena, povećavajući ekstremno broj mjera zbog čega metoda postaje neracionalna.

Mogu se uočiti dva osnovna pravca određivanja mase segmenata. Jedan je orijentiran na masu segmenta kao proporciju od ukupne tjelesne težine (2), a drugi na topološku determinaciju antropometrijskim mjerama (1). Smatramo da je poboljšanje modela u pravcu topološkog određivanja mase segmenata relevantnije od pokušaja orijentiranih prema određivanju njihove mase kao proporcije tjelesne težine.

Obzirom da su, po mišljenju autora ovog rada, biomehanički modeli ljudskog tijela koji se sada koriste nedostatni, jer ne uzimaju u obzir kvalitativne odlike ljudskog tijela, cilj je ovog istraživanja da, na općeniti način, ukaže na nedostatke jednog tipa modela, koji se može smatrati reprezentativnim.

Postoji, zatim, čitava klasa istraživanja antropometrijskog statusa ljudskog tijela (4, 14, 15, 16, 17), koja se oslanjaju na mjere Internacionalnog biološkog programa (IBP). Ove su mjere prihvaćene kao standardne u tipu istraživanja, čiji je osnovni cilj utvrditi cjelokupan antropometrijski status u smislu latentnih morfoloških dimenzija, ili određivanja morfoloških tipova.

Brojna su i istraživanja relacija antropometrijskih dimenzija, odnosno morfoloških tipova sa kompozicijom tijela obzirom na tipove tkiva (5, 7), kao i onih koja su usmjerena na predikciju gustoće tijela i odnosa vrste tkiva (6, 10, 12, 13, 18, 19, 20).

Težinu segmenata (T_s) je nemoguće direktno, in vivo, izmjeriti, ali se ona može izraziti kao funkcija volumena i gustoće.

$$T_s = f(V_s, D_s) \quad s = 1, 2, \dots, 15 \quad (1)$$

Volumen (V_s) se može relativno dobro aproksimirati specifičnim antropometrijskim mjerama, a problem određivanja gustoće (D_s) može se riješiti ili direktnim mjere-

njem pomoću spektrometrije, ili nekom od metoda densitometrije, npr., mjerenjem težine uronjenog tijela, indirektno.

Gustoća segmenta se, međutim, također može odrediti kao ponderirana suma vrsta tkiva različite gustoće. Prema tome je za segment s

$$D_s = B_{sk} Y_{sk} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

gdje je n broj različitih vrsta tkiva.

Vektor tipa tkiva (Y_k) se može smatrati poznatom veličinom na osnovu dosadašnjih istraživanja specifičnih težina pojedinih vrsta tkiva.

Ponder (B) se može procijeniti indirektno, neinvazivnom metodom, pomoću skupa antropometrijskih varijabli koje definiraju latentnu strukturu morfološkog prostora, ili pak morfološke tipove, a što se može definirati relacijom

$$B_k = g(M), \quad (3)$$

u kojoj je M morfološki tip, odnosno rezultat na latentnim morfološkim dimenzijama, a g funkcija koja određuje relaciju. Stoga, ako je procijenjena gustoća

$$D_s = B_k Y_k, \quad (4)$$

onda procjenu težine segmenta s daje relacija

$$T_s = f(V_s, D_s). \quad (5)$$

Cilj je, dakle, na osnovu antropometrijskih mjera pronaći funkciju g .

U ovom radu, naravno, neće moći biti određena funkcija g , jer su težine segmenata dobivene na temelju postupka koji također predstavlja jednu od pristrasnih aproksimacija. Posrednim zaključivanjem moguće je, međutim, izvesti hipoteze da je zbog toga povezanost dvaju skupova manjeg stupnja i drugačija, nego što bi bila da je funkcija g djelovala. Prihvatanjem nulte hipoteze o istovjetnosti prostora ova dva skupa značilo bi učiniti grešku zaključivanja tipa II, odnosno, neprihvatanje ove hipoteze zahtijevalo bi modifikaciju modela.

Autori stoga predlažu modifikaciju modela, koja se temelji na proširenju modela uvrštavanjem funkcije g .

2. METODE

2. 1. Uzorak ispitanika

Analiza je provedena na uzorku od 121 ispitanika, studenta Fakulteta za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu. Dob ispitanika varirala je u rasponu od 20 do 26 godina. Mjereni su isključivo ispitanici bez akutnih deformacija pojedinih dijelova tijela, koje bi mogle značajno utjecati na rezultate istraživanja.

2. 2. Uzorak varijabli

Iako sve varijable, korištene u ovom istraživanju, pripadaju skupu antropometrijskih mjera, za ciljeve ovog istraživanja tretirane su kao dva zasebna skupa, od kojih je prvi bio namijenjen oblikovanju segmenata biomehaničkog modela i predikciji njihovih svojstava (9), a drugi utvrđivanju latentnih antropometrijskih dimenzija tijela.

Skup varijabli, kojima je oblikovano 15 segmenata antropomorfog biomehaničkog modela (2) sastojao se od 25 antropometrijskih mjera (8). Njima je pridruženo još 6 mjera, koje su sa nekim mjerama modela neophodne za izračunavanje težine segmenata Clauserovim regresijskim postupkom.

Drugi skup sastojao se od 16 antropometrijskih mjera, koje su u ranijim istraživanjima takvog tipa pokazale dobre metrijske karakteristike i pouzdanost u procjeni strukture morfološkog prostora, tj. dimenzija koje ga definiraju, a odnose se na longitudinalnu dimenzionalnost skeleta, transversalnu dimenzionalnost skeleta, volumen i masu tijela, te potkožno masno tkivo.

2. 3. Postupak mjerenja

Mjerenje je provedeno klasičnim antropometrijskim priborom, sukladno standardima Internacionalnog biološkog programa (IBP). Neovisno o skupu kojem pripadaju, sve antropometrijske varijable su mjerene tri puta naizmjenično.

2. 4. Metode obrade

Za sve mjere unutar svakog skupa izračunate su pouzdanosti i valjanosti mjera. Rezultati ispitanika bili su određeni na osnovu prve glavne komponente svake antropometrijske mjere, reskalirane u antiimage metriku.

Izračunate su slijedeće deskriptivne vrijednosti: aritmetička sredina (X), standardna pogreška aritmetičke sredine (DX), standardna devijacija (SIG), te minimalni (MIN) i maksimalni (MAX) rezultat.

Aproksimativno normalne raspodjele mjera u ispitivnom uzorku testirane su Kolmogorov-Smirnovim postupkom.

Izračunate su korelacije mjera unutar svakog skupa, kao i kroskorelacije mjera između skupova.

Broj dimenzija, definiranih kao glavne komponente matrice korelacija, za svaki skup bio je određen na temelju Gutman-Kaiserovog kriterija. Neortogonalne rotacije izvedne su orthoblique postupkom.

Relacije između skupova izračunate su kanoničkom korelacijskom analizom.

3. REZULTATI

3. 1. Latentna struktura antropometrijskih mjera

Matrice sklopa i strukture antropometrijskih mjera u orthoblique soluciji (tabela 3. i 4.) pokazuju dobro slaganje sa rezultatima dosadašnjih istraživanja (4, 14, 16, 17). Broj glavnih komponenti matrice interkorelacija antropometrijskih mjera je određen sukladno Guttman-Kaiserovom kriteriju, čime je u analizi zadržano 75,83% od ukupne varijance. Prvi orthoblique faktor može se interpretirati kao longitudinalna dimenzionalnost skeleta (L), budući najveće projekcije na ovaj faktor pokazuju visina tijela ($AVISTJ$), dužina noge ($ADUZNG$), dužina ruke ($ADUZRK$) i dužina potkoljenice ($ADUZPT$). Drugi orthoblique faktor određen je najvišim projekcijama mjera potkožnog masnog tkiva, tj. naborom na pazuhu ($ANAPAZ$), naborom na leđima ($ANALED$), naborom na nadlaktici ($ANANAD$), naborom na potkoljenici ($ANAPOT$), te ga možemo interpretirati kao faktor potkožnog masnog tkiva (M). Slijedeći, treći orthoblique faktor nosi najviše projekcije mjera transversalne dimenzionalnosti skeleta, tj. dijametara i raspona, te ga možemo označiti kao faktor (T), uz opservaciju nešto drugačijeg položaja širine stopala ($ASIRST$). Četvrti faktor određuju opseg nadlaktice ($AOPNAD$), opseg potkoljenice ($AOPPOT$) i opseg natkoljenice ($AOPNAT$), s najvišim projekcijama, te težina tijela ($ATEZIN$) i širina stopala ($ASIRST$). Ovaj se faktor najjednostavnije može interpretirati kao cirkularna dimenzionalnost (C), kojoj su se, čini se, priključile i neke mjere ukupne mase tijela.

Korelacije orthoblique faktora (tabela 1.) pokazuju veliku nezavisnost faktora L i M i faktora M i T , dok su ostale kombinacije faktora u korelaciji od .40 do .54.

Premda je analiza provedena na nešto smanjenom skupu mjera u odnosu na dosadašnja istraživanja i u odnosu na skup predložen u IBP-u, rezultati potvrđuju visoku stabilnost analiziranog prostora i konzistentnost u odnosu na dosadašnja istraživanja.

3.2. Latentna struktura parametara biomehaničkog modela

Drugi promatrani prostor bio je određen biomehaničkim mjerama ljudskog tijela, koje su konstruirane u svrhu izračunavanja volumena segmenata biomehaničkog modela ljudskog tijela. Mjere koje su podvrgnute analizi u ovom radu, derivati su originalnih mjera, utvrđenih direktno na ispitanicima, izvedeni postupcima linearnog tipa. Gustoće segmenata dobivene su na osnovu izračunatih volumena i težina postupkom koji predlažu Clauser i sur. (1969). Izračunate gustoće u visokoj su suglasnosti sa nizom prethodnih istraživanja, u kojima je korišteno više različitih postupaka izračunavanja, a posebno je ova podudarnost izražena ako se usporedi s prosječnom gustoćom cijelog tijela. Statistike mjera gustoće, kao uostalom i sve ostale mjere, pokazuju da su normalno distribuirane u promatranom uzorku (podaci se nalaze kod autora).

Osam latentnih dimenzija, koliko je svojstvenih vrijednosti značajno na osnovu Guttman-Kaiserovog kriterija, objašnjava 80,67% od ukupne varijance. Osnovna interpretacija ovih dimenzija u orthoblique poziciji temelji se na matricama sklopa i strukture (tabela 2.).

Prvi orthoblique faktor nosi najviše projekcije slijedećih parametara: gustoća nadlaktice (DLRUPA), veći radius natkoljenice (RRUPL), veći radius nadlaktice (RRUPA), dubina trbuha (RRTRUL) i dubina grudnog koša (RRTRUU). Uočljivo je da, kod ovog faktora, izuzev gustoće grudnog koša, sve ostale mjere predstavljaju veće radiuse segmenata topološki lociranih na natkoljenici i nadlaktici, usko vezanih za zglobove kuka i ramena, čemu se pridružuju oba segmenta trupa koji označavaju dubinu trbuha i dubinu grudnog koša. Stoga ovaj faktor možemo interpretirati kao faktor trupa i zglobova kojima se uz trup vežu ekstremiteti (TZ), sa uočljivom cirkularnom dimenzionalnošću.

Ostali parametri, koji određuju segmente trupa, tj. gustoća grudnog koša (DLTRUU), gustoća trbuha (DLTRUL), širina grudnog koša (RTRUU), visina grudnog koša (SLTRUU), visina trbuha (SLTRUL) i dubina trbuha (RRTRUL), definiraju drugi faktor, koji zato možemo nazvati topološkim faktorom trupa (TT).

Na trećem faktoru, uz parametar gustoće nadlaktice (DLRLOA), visokim projekcijama ističe se grupa parametara dužine segmenata ekstremiteta: dužina podlaktice (SLRLOA), dužina nadlaktice (SLRUPA), dužina potkoljenice (SLRLOL), dužina stopala (SLRFOO). Ovaj faktor možemo, zbog uočljive sličnosti segmenata ekstremiteta čija dužina je određena duljinom cjevastih kostiju, osim natkoljenice, interpretirati u smislu longitudinalnosti (LE).

Četvrti faktor je dobro definiran, većinom mjerama stopala: gustoćom stopala (DLRFOO), manjim radiusom stopala (RRRFOO) i većim radiusom stopala (RRFOO), pa ga je stoga moguće imenovati kao topološki faktor stopala (TS).

Peti faktor je također topološki definiran i to parametrima segmenata glave, tj. gustoćom glave (DLHEAD), visinom glave (SLHEAD) i širinom glave (RRHEAD). Mada je ovaj faktor određen i parametrom visine grudnog koša (SLTRUU), čije se prisustvo može smatrati artefaktom koji je posljedica oblikovanja segmenta glave koji uključuje i vrat tijela, može ga se nazvati topološkim faktorom glave (TG).

I slijedeći, šesti faktor se isto tako može nazvati topološkim, jer je definiran parametrima segmenata natkoljenice, gustoćom (DLRUPL) i dužinom natkoljenice (SLRUPL). Radi se, dakle, o faktoru natkoljenice (TN).

Sedmi faktor određen je projekcijama svih manjih polumjera segmenata ekstremiteta: polumjerom ručnog zgloba (RRRLOA), polumjerom koljena (RRRUPL), polumjerom lakta (RRRUPA) i polumjerom nožnog zgloba (RRRLOL), koji, ustvari, predstavljaju mjere opsega zglobova na ekstremitetima, pa se stoga mogu povezati s transverzalnom dimenzionalnošću (TrS).

Osmi faktor je također vrlo jasno topološki definiran kao faktor šake (TSa), parametrima gustoće šake (DLRHAN) i polumjera šake (RRHAN).

Promatrajući strukturu ovim osam faktora u cjelini možemo uočiti dva načina njihova formiranja. Jedan je

određen latentnim svojstvima ljudskog tijela; longitudinalnom (LS), transverzalnom (TrS) i cirkularnom (TZ) dimenzionalnošću; drugi je određen posve topološki: tijelo (TT), stopalo (TS), glava (TG), natkoljenica (TN) i šaka (TH). Posebno treba uočiti da se na svim topološkim faktorima najvišom projekcijom ističe gustoća faktoru pripadajućeg segmenta.

Korelacije između faktora pokazuju visok stupanj njihove izoliranosti, osim kada se gledaju korelacije nekih topoloških faktora (TS, TSa) sa faktorima generalnih svojstava (LS, TrS, TZ). Također je uočljiva međusobna povezanost „generalnih“ svojstava.

3. 3. Kanoničke relacije

Relacije između manifestnih skupova varijabli analizirane su na temelju kanoničke korelacijske analize. Promatrajući tabelu koeficijenata kanoničkih korelacija, koeficijena determinacije i nivoa značajnosti (tabela 4.) može se uočiti da je čak osam kanoničkih korjenova značajno. Međutim, kao što pokazuju veličine koeficijenata determinacije, dovoljno je ograničiti se u interpretaciji ovih relacija na samo prva tri para.

Prvi kanonički faktor u prostoru antropometrije (tabela 5.) određuju dominantno mjere longitudinalne dimenzionalnosti skeleta (visina tijela AVISTJ, dužina noge ADUZNG, dužina ruke ADUZRK, dužina potkoljenice ADUZPT, te težina tijela (ATEZIN) i, s nešto nižim korelacijama, mjere transverzalne dimenzionalnosti, pa ga možemo interpretirati kao faktor skeleta. Njegov par u prostoru parametara određuju sve mjere dužine segmenata, većina mjera manjih radiusa segmenata ekstremiteta, te još i mjere gustoće segmenta ekstremiteta sa suprotnim predznacima. Stoga ovaj faktor možemo interpretirati kao longitudinalnu i transverzalnu dimenzionalnost segmenata ekstremiteta.

Drugi kanonički faktor u prostoru antropometrijskih mjera najvišim korelacijama obilježavaju mjere opsega i tjelesne težine, te u nešto manjoj mjeri transverzalne mjere i mjere potkožnog tkiva, zbog čega ovaj faktor može biti interpretiran kao ukupna masa tijela. U prostoru parametara drugi kanonički faktor određuju parametri većih i manjih radiusa ekstremiteta, što ukazuje na to da su ovi parametri u velikoj mjeri slični mjerama cirkularne dimenzionalnosti.

Treći kanonički faktor u prostoru antropometrijskih mjera ima umjerene korelacije s mjerama opsega nadlaktice (AOPNAD), nabora na pazuhu (ANAPAZ), nabora na leđima (ANALED) i opsega potkoljenice (AOPPOT). U prostoru parametara s trećim faktorom najveće korelacije imaju: širina grudnog koša (RTRUU), gustoća grudnog koša (DLTRUU), gustoća trbuha (DLTRUL), dubina grudnog koša (RRTRUU) i gustoća potkoljenice (DLRLOL), zbog čega se čini da je ovaj faktor određen specifičnošću kompozicije i oblika segmenata trupa.

Kanoničke relacije u latentnom prostoru, premda su sa značajnošću koeficijenata kanoničke korelacije određeni sa prva tri para kanoničkih faktora, praktički se, što je vidljivo iz koeficijenata determinacije (tabela 6.), iscrpljuju prvim parom.

Prvi kanonički faktor u prostoru antropometrije definiran je longitudinalnom i cirkularnom dimenzionalnošću, te s nešto nižom korelacijom i transverzalnom dimenzionalnošću tijela. U prostoru parametara ovaj faktor određuju faktori označeni kao latentna (TrS, LS i TZ) svojstva ljudskog tijela.

Dobijena visoka povezanost oba prostora mogla se očekivati, obzirom na to da se, u suštini, radi o jednom te istom objektu, opisanom na dva različita načina, i za dvije različite namjene. Relacije ova dva prostora, kao što se vidi iz prva dva para kanoničkih faktora u manifestnom i prvog kanoničkog para u latentnom prostoru, iscrpljuju se preko latentnih svojstava longitudinalnosti, cirkularnosti i transverzalnosti ljudskog tijela. Nakon objašnjenja ovih veza uočava se slaba, praktički beznačajna povezanost dva relativno homogena dijela u oba prostora. U prostoru antropometrijskih mjera to se odnosi na potkožno masno tkivo, a u prostoru parametara segmenata uočava se da su gustoće segmenata slabo objašnjene ovim relacijama. Spomenuta činjenica posebno se dobro uočava na segmentima glave, šake i stopala.

4. DISKUSIJA

Na osnovu pregleda rezultata svih primijenjenih analiza izrazito se nameće zaključak o visokoj stabilnosti i konzistentnosti latentne strukture fizikalnih karakteristika ljudskog tijela. Longitudinalna i transverzalna dimenzionalnost tijela, kao dimenzije skeletalnog sistema, te njima pridružena cirkularna dimenzionalnost, kao dimenzionalnost mase tijela, iako definirane na osnovu dva različita modela, u oba prostora se lako uočavaju kao nosioci strukture pojedinog prostora, a ujedno i kao nosioci najvećeg dijela objašnjivih relacija između dva prostora.

Nadalje, uočeno je visoko poklapanje parametara koji određuju veće baze krnjih stožaca – oblika segmenata ekstremiteta s mjerama cirkularne dimenzionalnosti, a s druge strane poklapanje parametara manje baze krnjih stožaca s mjerama transverzalne dimenzionalnosti. Zbog ovoga su, uz činjenicu povezivanja longitudinalne dimenzionalnosti tijela sa cjevastim kostima-nosiocima segmenata ekstremiteta, u relacijama s antropometrijskim mjerama zadovoljavajuće dobro zastupljeni parametri segmenata ekstremiteta. Ostali segmenti biomehantičkog modela dijele se u dvije podgrupe. Prvu sačinjavaju glava, šaka i stopalo, kao grupa „koščatih“ segmenata s preovladavajućim kompozitom koštanog tkiva; drugu čine segmenti trupa sa svojom specifičnošću oblika i kompozicije. Čini se da se već i iz ove analize može ustanoviti taksonomija segmenata biomehantičkog modela ljudskog tijela u taksone, koji bi se mogli definirati kao segmenti ekstremiteta, „koščati“ segmenti i segmenti trupa. „Košćati“ segmenti pokazuju se kao najhomogeniji i, u relacijama, najslabije objašnjen takson, zbog čega se čini da su modifikacije unutar modela za ovu podgrupu najmanje potrebne i moguće. Segmenti ekstremiteta, osim krajnjih („koščatih“) koji su već opisani, najbolje su zastupljeni u relacijama dvaju prostora. Zbog, u relacijama, slabo objašnjene dimenzije potkožnog masnog tkiva, inače jasno izražene dimenzije u prostoru antropometrijskih mjera, zaključujemo o težnji modela da

operira s tkivima prosječne gustoće, tj. o slaboj ili nikakvoj diferencijaciji obzirom na gustoću tkiva koja ulaze kao kompoziti u ukupnu masu segmenata. Ovo praktično znači da će u konkretnoj situaciji ekstremnog slučaja dva tipa ispitanika, od kojih jedan volumen ostvaruje na račun visokog parcijalnog doprinosa mišićne mase (skeleta – muskulozan tip), a drugi koji volumen ostvaruje visokim doprinosom tkiva potkožne masti (adipozan tip), model, obzirom na određivanje mase, biti nedopustivo neprecizan. U analizi podprostora kao i u relacijama uočljivo je također nekonzistentno ponašanje podgrupe parametara koji definiraju gustoću segmenata. Ovo se logički uklapa u dosadašnji tok zaključivanja i direktno ukazuje na stvarnu mogućnost poboljšanja u preciznosti na osnovu predložene modifikacije modela određivanjem funkcije, ranije označene kao funkcija g.

Neinterpretirane relacije dvaju potprostora, na sukcesivno reduciranoj i nezavisnoj varijanci, sadrže još neke zanimljive povezanosti (npr. na više mjesta uočljiva povezanost nekih mjera i parametara segmenata grudnog koša i potkoljenice) i traže daljnju analizu, ali su ovdje, zbog, može se reći, dobrog ostvarenja cilja istraživanja, zanemarene.

Tabela 1 – ORTHOBLIQUE SKLOP (A) I STRUKTURA (F) ANTROPOMETRIJSKIH MJERA I INTERKORELACIJE (M) ORTHOBLIQUE FAKTORA

	A			
	OBO1	OBO2	OBO3	OBO4
AVISTJ	.88	-.06	.17	-.04
ADUZNG	.98	-.03	-.04	-.01
ADUZRK	.89	.04	-.06	.09
ADUZPT	.90	-.05	-.01	.04
ATEZIN	.37	.12	.14	.58
AOPNAD	-.13	-.01	-.29	1.03
AOPNAT	.12	.26	-.11	.72
AOPPOT	-.28	-.09	.13	.97
ANAPAZ	-.18	.82	.08	.05
ANALED	-.25	.88	.18	-.06
ANANAD	.13	.84	-.04	.00
ANAPOT	.40	.59	-.34	.15
ABIKRS	.27	.12	.74	-.23
DIJKO	-.04	.18	.81	.03
ADIJSZ	-.15	-.23	.63	.46
ASIRST	.19	-.23	.20	.54

	F			
	OBO1	OBO2	OBO3	OBO4
AVISTJ	.93	-.01	.56	.48
ADUZNG	.96	.03	.41	.48
ADUZRK	.92	.13	.41	.55
ADUZPT	.91	.04	.43	.50
ATEZIN	.75	.40	.61	.90
AOPNAD	.28	.38	.16	.81
AOPNAT	.47	.56	.33	.84
AOPPOT	.30	.29	.48	.85

	M								
	OBO1	OBO2	OBO3	OBO4					
OBO 1	1.00				ANAPAZ	-.06	.83	.08	.33
OBO 2	.07	1.00			ANALED	-.13	.85	.09	.26
OBO 3	.47	.07	1.00		ANANAD	.17	.84	.08	.39
OBO 4	.54	.41	.51	1.00	ANAPOT	.37	.66	-.03	.44
					ABIKRS	.51	.10	.76	.34
					ADIJKO	.38	.24	.83	.50
					ADIJSZ	.37	-.01	.77	.59
					ASIRST	.56	.02	.55	.65

Tabela 2 - ORTHOBLIQUE SKLOP PARAMETARA SEGMENTA

	TZ	TT	LE	TS	TG	TN'	TrS	TSa
SLHEAD	.05	.09	-.03	-.03	-.09	-.11	.04	.01
SLTRUU	.28	.31	-.42	-.20	.62	-.19	-.36	-.17
SLTRUL	-.15	-.52	-.15	-.20	-.01	.50	.38	-.01
SLRUPA	.02	-.03	-.74	-.01	.15	-.11	.05	-.04
SLRUPL	.03	-.05	-.20	-.07	-.05	-.89	.03	-.07
SLRLOA	.06	-.09	-.97	.04	-.08	.02	-.17	.03
SLRLOL	.00	.62	-.60	.08	.01	.20	.19	.12
SLRFOO	.12	-.03	-.41	-.07	.05	-.17	.31	-.09
RTRUU	.06	.79	-.11	-.05	-.16	.20	.08	.13
RTRUL	.23	-.19	-.36	-.17	.03	.11	.30	-.02
RRUPA	.71	.02	.18	-.01	.08	.10	.20	-.18
RRUPL	.77	-.02	.04	.02	.04	.01	.26	.12
RRHAN	-.06	.02	.06	.00	.03	-.04	.37	-.82
RRFOO	.02	-.02	.00	-.93	-.02	-.02	.13	.04
RRHEAD	.37	.14	-.21	-.15	-.34	.20	-.26	-.39
RRRUL	.64	-.44	-.20	.07	-.08	-.07	.17	.00
RRRUPA	-.02	.06	-.05	.02	.00	.13	.77	-.24
RRRUPL	.19	.17	.07	-.14	-.03	-.01	.77	.11
RRRLOA	.00	.05	.20	-.02	.05	-.02	.91	-.03
RRRLOL	.21	-.13	-.12	.12	-.07	-.16	.71	.09
RRRFOO	.02	-.02	.00	-.93	-.02	-.02	.13	.04
RRRUL	.55	.11	-.26	.13	-.06	-.08	.10	.03
DLHEAD	-.01	-.07	.02	.05	.96	.04	.13	.07
DLTRUU	-.02	.93	.17	.02	.03	-.09	.02	-.09
DLTRUL	-.02	.94	.17	.00	.02	-.09	.01	-.08
DLRUPA	1.00	.10	.27	-.12	.01	.02	-.62	.09
DLRUPL	.11	.09	-.05	.03	.03	.94	-.16	-.08
DLRHAN	.06	.06	.02	-.08	-.01	.01	.21	.98
DLRLOA	.13	.13	1.04	-.04	.12	-.05	.31	-.01
DLRLOL	.21	-.43	.52	.01	-.03	-.05	-.38	-.09
DLRFOO	.17	-.03	-.01	1.02	-.03	-.01	.24	.06

ORTHOBLIQUE STRUKTURA PARAMETARA SEGMENTA

	TZ	TT	LE	TS	TG	TN	TrS	TSa
SLHEAD	.07	.31	.03	-.11	-.93	-.09	.10	.04
SLTRUU	.28	.09	-.51	-.14	.60	-.27	.17	-.32
SLTRUL	.21	-.55	-.26	-.29	.10	.48	.31	-.17
SLRUPA	.29	-.11	-.82	-.12	.25	-.24	.43	-.38
SLRUPL	.01	.08	-.40	-.17	.02	-.92	.27	-.24
SLRLOA	.29	-.17	-.89	-.03	.05	-.09	.27	-.32
SLRLOL	.27	.58	-.55	-.05	-.06	.00	.46	-.10
SLRFOO	.43	-.01	-.68	-.25	.11	-.26	.64	-.42
RTRUU	.12	.81	-.01	-.11	-.34	.07	.23	.15

Tabela 2. (nastavak)

RTRUL	.55	-.20	-.60	-.34	.11	.06	.61	-.35
RRUPA	.82	.00	-.22	-.13	.06	.19	.53	-.41
RRUPL	.85	.01	-.30	-.16	.03	.11	.58	-.22
RRHAN	.38	-.01	-.42	-.10	.08	-.15	.61	-.91
RRFOO	.19	.02	-.17	-.98	-.07	-.08	.45	.00
RRHEAD	.49	.09	-.30	-.14	-.35	.20	.21	-.44
RTRUL	.78	-.41	-.52	-.10	.04	.05	.51	-.40
RRRUPA	.49	.12	-.47	-.24	.02	.00	.86	-.51
RRUPL	.53	.30	-.31	-.43	-.08	-.09	.87	-.17
RRRLOA	.41	.19	-.25	-.31	.03	-.11	.85	-.28
RRRLOL	.55	.01	-.50	-.19	-.01	-.19	.80	-.30
RRRFOO	.19	.02	-.17	-.98	-.07	-.09	.45	.00
RRTRUU	.65	.12	-.46	-.02	-.05	-.06	.47	-.29
DLHEAD	.02	-.26	-.11	-.06	.97	.01	.07	-.03
DLTRUU	-.07	.95	.20	.02	-.19	-.22	.10	.08
DLTRUL	-.07	.95	.19	.01	-.19	-.22	.10	.08
DLRUPA	.59	.02	.25	.00	-.08	.27	-.22	.09
DLRUPL	.20	-.10	.12	.13	-.01	.95	-.16	.00
DLRHAN	-.16	.20	.29	-.18	-.09	.07	-.08	.91
DLRLOA	-.06	.24	.83	-.04	-.03	.08	-.06	.25
DLRLOL	-.13	-.44	.55	.18	.01	.16	-.55	.13
DLRFOO	.15	.10	-.04	.91	.03	.06	-.04	-.11

KORELACIJE ORTHOBLIQUE FAKTORA PARAMETARA SIGMENATA

	TZ	TT	LE	TS	TG	TN	TrS	TSa
1. TZ	1.00							
2. TT	-.02	1.00						
3. LE	-.34	.08	1.00					
4. TS	-.13	-.01	.12	1.00				
5. TG	-.01	-.22	-.12	.05	1.00			
6. TN	.14	-.16	.16	.07	-.04	1.00		
7. TrS	.50	.15	-.46	-.35	.01	-.12	1.00	
8. TSa	-.34	.11	.40	-.02	-.07	.08	-.35	1.00

Tabela 3 - KROSKORELACIJE ANTROPOMETRIJSKIH MJERA I PARAMETARA SEGMENTA

	SL HEAD	SL TRUU	SL TRUL	SL RUPA	SL RUPL	SL RLOA	SL RLOL	SL RFOO	R TRUU	R TRUL	R RUPA	R RUPL	R RHAN	R RFOO	RR HEAD
AVISTJ	.13	.48	.34	.66	.55	.55	.61	.68	.13	.58	.23	.35	.50	.48	.27
DUZNG	.11	.42	.19	.65	.60	.51	.70	.65	.23	.47	.23	.30	.45	.45	.22
ADUZRK	.07	.44	.14	.67	.47	.51	.66	.63	.28	.52	.30	.37	.50	.37	.24
ADUZPT	-.01	.40	.18	.54	.50	.42	.69	.60	.16	.46	.27	.37	.48	.30	.18
ATEZIN	.15	.33	.23	.52	.28	.43	.55	.62	.33	.65	.59	.69	.55	.39	.48
AOPNAD	.11	.12	.01	.13	-.07	.08	.36	.28	.41	.35	.64	.55	.38	.14	.21
AOPNAT	.02	.20	.19	.36	.14	.30	.30	.42	.16	.50	.59	.80	.41	.20	.35
AOPPOT	.08	.06	.16	.12	.03	.01	.25	.32	.16	.37	.53	.56	.27	.27	.31
ANAPAZ	.09	-.05	-.13	-.06	-.11	-.14	.06	.05	.30	.17	.35	.34	.05	-.02	.24
ANALED	.09	-.09	-.08	-.13	-.16	.05	-.03	.06	.26	.10	.25	.25	.01	-.07	.31
ANANAD	.06	-.04	.12	.08	-.01	.17	.10	.21	.10	.26	.34	.39	.20	-.03	.26
ANAPOT	-.01	.04	.25	.24	.01	.17	.15	.27	.04	.32	.36	.40	.25	-.03	.14
ABIKRS	-.04	.31	.25	.42	.19	.31	.29	.39	.07	.58	.26	.30	.18	.28	.21
ADIJKO	.13	.13	.25	.30	.06	.29	.29	.42	.18	.40	.22	.25	.26	.40	.30
ADIJSZ	.05	.23	.21	.29	.17	.17	.19	.46	.06	.46	.23	.32	.30	.37	.13
ASIRST	.20	.31	.10	.32	.26	.22	.39	.57	.31	.45	.32	.38	.51	.25	.32

Tabela 3 – NASTAVAK

	RR TRUU	RR TRUL	RR RUPA	RR RUPL	RR RLOA	RR RLOL	RR RFOO	DL HEAD	DL TRUU	DL TRUL	DL RUPA	DL RUPL	DL RHAN	DL RLOA	DL RLOL	DL RFOO
AVISTJ	.40	.38	.53	.52	.43	.58	.48	-.01	.05	.06	-.18	-.31	-.20	-.46	-.59	-.22
ADUZNG	.46	.33	.48	.51	.40	.55	.45	.02	.16	.17	-.14	-.38	-.16	-.40	-.65	-.20
ADUZRK	.51	.32	.57	.54	.51	.50	.38	.07	.22	.22	-.17	-.25	-.15	-.37	-.66	-.15
ADUZPT	.43	.33	.52	.52	.45	.58	.30	.14	.18	.17	-.13	-.31	-.19	-.31	-.61	-.01
ATEZIN	.61	.61	.74	.75	.62	.72	.38	-.02	.19	.19	.07	-.03	-.15	-.24	-.44	.03
AOPNAD	.39	.29	.63	.57	.46	.37	.14	.01	.35	.35	.16	.18	-.08	.13	-.28	.09
AOPNAT	.52	.60	.54	.59	.44	.58	.20	.10	.06	.06	.23	-.01	-.17	-.12	-.21	.14
AOPPOT	.35	.42	.56	.66	.48	.60	.27	.02	.17	.18	.16	.07	.02	.11	.04	.12
ANAPAZ	.29	.29	.14	.26	.14	.09	-.02	-.08	.07	.08	.32	.13	.00	-.06	-.06	.10
ANALED	.25	.23	.12	.19	.08	.01	-.08	-.12	.08	.08	.24	.19	.03	-.04	.01	.10
ANANAD	.33	.37	.19	.32	.16	.25	-.03	-.03	-.06	-.05	.26	.03	-.14	-.13	-.09	.18
ANAPOT	.32	.38	.20	.29	.17	.29	-.04	.07	-.09	-.10	.21	.06	-.16	-.13	-.21	.20
ABIKRIS	.13	.19	.41	.40	.33	.43	.28	.13	.00	.00	-.11	-.05	.05	-.27	-.30	-.05
ADIJKO	.26	.38	.48	.57	.50	.66	.37	.07	.01	.01	-.12	-.09	.03	-.03	-.23	-.13
ADIJSZ	.24	.29	.46	.57	.53											
ASIRS	.41	.35	.53	.59	.52	.55	.24	-.09	.20	.20	-.03	-.09	-.16	-.08	-.37	.04

Tabela 4 – KANONIČKE KORELACIJE U PROSTORU VARIJABLI

Broj	Koeficijent determinacije	Kanonička korelacija	Nivo značajnosti
1.	.98	.99	.00
2.	.93	.96	.00
3.	.83	.91	.00
4.	.71	.84	.00
5.	.64	.80	.00
6.	.62	.79	.00
7.	.53	.73	.00
8.	.48	.69	.00

Tabela 5 – KANONIČKI FAKTORI ANTROPOMETRIJSKIH MJERA (A) I KANONIČKI FAKTORI PARAMETARA SEGMENTA (B)

	A		
AVISTJ	-.99	-.02	-.07
ADUZNG	-.94	-.01	.13
ADUZRK	-.84	-.12	.29
ADUZPT	-.82	-.13	.08
ATEZIN	-.71	-.63	.17
AOPNAD	-.21	-.60	.41
AOPNAT	-.36	-.59	.08
AOPPOT	-.26	-.88	-.28
ANAPAZ	.10	-.35	.34
ANALED	.15	-.34	.28
ANANAD	-.08	-.34	.00
ANAPOT	-.20	-.22	.04
ABIKRS	-.49	-.26	-.12
ADIJKO	-.44	-.35	-.07
ADIJSZ	-.43	-.46	-.19
ASIRST	-.57	-.47	.11

	B		
SLHEAD	-.14	-.09	.13
SLTRUU	-.48	.02	.05
SLTRUL	-.31	-.02	-.040
SLRUPA	-.67	.01	.06
SLRUPL	-.57	.16	.00
SLRLOA	-.55	.06	.14
SLRLOL	-.66	-.11	.29
SLRFOO	-.70	-.19	.05
RTRUU	-.17	-.26	
RTRUL	-.56	-.33	-.04
RRUPA	-.21	-.58	.17
RRUPL	-.31	-.57	.05
RRHAN	-.50	-.26	.16
RRFOO	-.49	-.11	-.09
RRHEAD	-.26	-.39	.17
RRTRUU	-.41	-.39	.35
RRTRUL	-.36	-.42	.03
RRRUPA	-.53	-.55	.17
RRRUPL	-.54	-.59	.06
RRRLOA	-.45	-.48	.14
RRRLOL	-.59	-.50	-.13
RRRFOO	-.49	-.10	-.09
DLHEAD	.01	.02	-.11
DLTRUU	-.08	-.23	.40
DLTRUL	-.09	-.23	.39
DLRUPA	.20	-.24	.06
DLRUPL	.33	-.27	.10
DLRHAN	.19	-.03	-.06
DLRLOA	.46	-.22	.01
DLRLOL	.65	-.13	-.41
DLRFOO	.23	-.26	.02

Tabela 6 – KANONIČKE KORELACIJE

Broj	Koeficijent determinacije	Kanonička korelacija	Nivo značajnosti
1.	.88	.94	.00
2.	.61	.78	.00
3.	.16	.40	.00
4.	.10	.32	.03

KANONIČKI FAKTORI – FAKTORA ANTROPOMETRIJE

1.	L	.90	.39
2.	M	.29	-.45
3.	T	.67	.10
4.	C	.83	-.55

KANONIČKI FAKTORI – FAKTORA PARAMETARA SEGMENTA

1.	TZ	.64	-.56
2.	TT	.24	-.11
3.	LE	-.73	-.49
4.	TS	-.38	-.22
5.	TG	.02	.13
6.	TN	-.20	-.40
7.	TrS	.88	-.19
8.	TSa	-.42	.05

Leo Pavičić
Mladen Mešovšek
Faculty of Physical Education, University of Zagreb

Original scientific paper
UDC 577.3:572.5
Received October 8, 1985

SOME POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF THE BIOMECHANICAL MODEL OF THE HUMAN BODY

The analysis was carried out on a sample of 121 students at the Faculty of Physical Culture in Zagreb, aged 20 to 26. The subjects had no acute malformations of the body at the time the measurements were taken. Two groups of anthropometric measures were used. The first group was intended to calculate the parameters and form the segments of the biomechanical model, whereas the second had to establish the latent anthropometric dimensions of the body.

The results were determined on the basis of the first major component of measures, rescaled into the anti-image metrics. Each system of variables was subjected to component analysis using GK criterion for space dimensionality. Non-orthogonal rotations were derived by means of the orthoblique procedure. Relations between measuring systems, and particularly between the systems of latent dimensions, were assessed by means of the canonic correlation analysis.

The results of the analysis in the space of 16 anthropometric measures have shown agreement with the results up to date. The four obtained factors were interpreted as longitudinal dimension of the skeleton (L), subcutaneous fat tissue (M), transversal dimensionality of the skeleton (T) and circular dimensionality of the body (C).

The second studied space was determined by means of the biomechanical measures of the human body that were constructed with the purpose to calculate the volume of the segments of the biomechanical model. The measures analyzed in this study were derived from the original measures, established directly on the subjects and derived from linear-type procedures. The segment density was obtained on the basis of calculated volumes and weights that were established by the procedure designed by Clauser et al. (1969).

Eight isolated factors were interpreted as follows:

1. factor involving trunk and its belonging joints (TZ).
2. topological factor of the trunk (TT).
3. longitudinality (LE).
4. topological factor of the foot (TS).
5. topological factor of the head (TG).
6. topological factor of the thigh (TN).
7. transversality (TrS).
8. topological factor of the fist (TSa).

Canonic relations between the systems of manifest variables have yielded eight significant pairs of canonic factors, but only first three have been interpreted due to low coefficients of determination in the remaining pairs.

The first canonic factor in the space of anthropometric measures was interpreted as skeleton factor, while its pair in the parameter space determined by all measures of segment length, by measures of smaller radii of extremities and by measures of density with opposite sign, as longitudinal and transversal dimensionality of segments of extremities.

The second canonic factor in the space of anthropometric measures was interpreted as the total mass of the body. In the parameter space the second canonic factor was determined by the greater and smaller radii of the extremities pointing to its similarity with the circular dimensionality of the body.

The third pair of canonic factors seems to have been determined by the specific composition and form of the trunk segment.

Canonic relations in the latent space, although determined by the first three pairs of significant canonic factors, are practically exhausted in the first pair. The first canonic factor in the anthropometric space is defined by the longitudinal and circular and, somewhat less, by the transversal dimensionality. In the parameter space this factor is determined by parameters that are measures of the corresponding features of the human body.

The high correlation between the two spaces was to be expected, bearing in mind that essentially a single object is involved and described in two different ways, for two different purposes. This correlation, as may be seen from the first two pairs of canonic factors in the manifest and the first factor in the latent space, is exhausted through the latent features of longitudinality, circularity and transversality of the human body. Having explained these correlations, a poor and practically negligible correlation is evident between the subcutaneous fat tissue and the segment density.

Лео Павичич, Младен Мейовшек
Факультет физической культуры в Загребе

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА

У качестве испытуемых в исследовании принял участие 121 студент Факультета физической культуры Загребского университета в возрасте от 20 до 26 лет. У испытуемых не обнаружены деформации тела. Применены две группы антропометрических измерений. При помощи первой группы вычислялись параметры и образовались сегменты biomeханической модели, а при помощи второй определены латентные антропометрические факторы тела.

Результаты испытуемых определены на основе первого главного компонента измерений, рескалированных в антиимаж метрику. Для каждой из групп переменных проведен компонентный анализ, при чем применялся ГК критерий определения пространства, а неортогональные ротации получены при помощи ортоблик приема. Взаимоотношения между группами измерений, а также между латентными факторами, определены при помощи канонического корреляционного анализа.

Полученные результаты анализа в пространстве 16 антропометрических измерений хорошо согласуются с результатами подобных исследований. Четыре полученных фактора интерпретированы как продольные свойства скелета (L), как подкожная жировая ткань (M), как поперечные свойства скелета (T) и как охватные свойства тела (C).

Второе рассматриваемое пространство было определено на основе biomeханической модели человеческого тела. Измерения, анализ которых проведен в настоящей работе, являются дериватами измерений, полученных непосредственно на испытуемых. При этом применялись приемы линейного типа. Плотность сегментов получена на основе вычисленных объемов и веса, которые определены при помощи метода Клаусера (Clauser) и сотрудников (1969).

Восемь выделенных факторов интерпретировано следующим образом: 1. фактор туловища и суставов связанных с туловищем (TZ), 2. топологический фактор туловища (TT), 3. продольность (LE), 4. топологический фактор стопы (TS), 5. топологический фактор головы (TG), 6. топологический фактор бедра (TN), 7. поперечность (TrS) и 8. топологический фактор кисти (TSa).

На основе канонического взаимоотношения групп манифестных переменных выделено восемь достоверных пар канонических факторов, но интерпретация проведена лишь для первых трех факторов, так как коэффициенты детерминации остальных факторов очень низкие.

Первый канонический фактор в пространстве антропометрических измерений интерпретирован как фактор скелета, а его парой в пространстве параметров является фактор продольных и поперечных свойств сегментов конечностей, потому что его определяют все измерения длины сегментов, а также измерения плотности сегментов с противоположным предзнаменованием.

Второй канонический фактор в пространстве антропометрических измерений интерпретирован как общая масса тела. Так как его определяют размеры диаметров конечностей, это указывает на его сходство с охватными свойствами тела.

Третья пара канонических факторов, можно предположить, была определена особенностью композиции и формы сегментов туловища.

Хотя первые три пары достоверных канонических факторов определяют канонические взаимоотношения в латентном пространстве, в самом деле, для их определения достаточно лишь первой пары. Первый канонический фактор в антропометрическом пространстве определяется продольной и охватной, а также, но в немного меньшей степени, и поперечной характеристиками тела. В пространстве параметров этот фактор определяется параметрами, которые представляют собой измерения соответствующих свойств тела.

Можно было предположить, что взаимосвязь рассматриваемых пространств будет высокой, так как речь идет об одном и том же объекте, который описывается двумя различными способами. Эта взаимосвязь, как показывают первые две пары канонических факторов в манифестном пространстве и первая пара факторов в латентном пространстве, проявляются в латентных свойствах продольности, охватности и поперечности человеческого тела. Замечается также, практически незначительная, связь подкожной жировой ткани и плотности сегментов.

