Vladimir Horvat

Fakultet za fizičku kulturu, Zagreb

METRIJSKE KARAKTERISTIKE TESTOVA ZA ODREĐIVANJE FUNKCIONALNE SPOSOBNOSTI KARDIOVASKULARNOG SISTEMA

Horvat, Vladimir

METRICAL CHARACTERISTICS OF TESTS FOR DETERMINING FUNCTIONAL ABILITIES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

On the basis of the results the following can be concluded:

1. The functional ability of the cardiovascular system represents a complex of characteristics which depend, not only on the heart and blood vessels, but also on a number of other factors, the most important being the neurovegetative and endocrine systems.

2. Functional ability, common to all life situations, most probably doesn't exist; a series of specific abilities for different activities and situations is the most probable hypothesis.

3. Testing the cardiovascular system ability relies on the assumption that people differ in their cardiovascular ability and that these differences can be measured.

4. The greatest difference in functional ability of the cardiovascular system during maximal effort exists between nontrained people and trained athletes in specific sports.

5. The greater the loadings, the greater are the differences in the reactions of the cardiovascular system in different people.

6. Maximal oxygen consumption test in running is a reliable and discriminative test. Reliability coefficient of the test is .95. It measures the cardiovascular ability for efforts and differentiates between trained and nontrained subjects significantly. Its validity coefficient is .85, and predictive value is 54 percents better than by chance.

7. The step test measures the ability of the cardiovascular system to recuperate after submaximal work. Its reliability coefficient is .84. Using this test it could be possibile to discriminate significantly between trained and nontrained subjects, but its validity coefficient is .53 and predictive value is only 15 percents better than by chance.

8. The step test and the maximal oxygen consumption test are in correlation of .15, which shows that they don't measure the same characteristics, although both of them can discriminate between trained and nontrained subjects. It is questionable whether the common functional ability of the cardiovascular system exists.

9. Schneider's and Barach's tests are not reliable and are not discriminative measuring instrumets, so the functional ability of the cardiovascular system can not be measured by them.

10. Although the number of subjects was relatively small, the author considers that the tests, which can

Владимир Хорват

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕСТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

На основании результатов можно сделать следующие выводы:

1. Функциональная способность сердечно-сосудистой системы — это комплексная особенность, которая зависит не только от сердца и кровеносных сосудов, но и от ряда других факторов, в первую очередь, от невровегетативной и эндокриной системы.

2. По всей вероятности, не существует функциональной способности сердечно-сосудистой системы общей для всех жизненных ситуаций, а только для специфических возможностей в различных активностях и ситуациях.

3. Тесты сердечно-сосудистой системы основываются на предположении, что между людьми с различными сердечно-сосудистыми возможностями существуют различия и что эти различия измеримы.

4. Самые большие различия в функциональной способности сердечно-сосудистой системы к максимальным нагрузкам существуют между нетренированными людьми и тренированными спортсменами специальных дисциплин.

5. Чем больше нагрузка, тем больше разница в реакциях сердечно-сосудистой системы различных людей.

6. Тест максимального использования кислорода при беге — надежный и дискриминативный тест. Коэффициент надежности — 0,95. Он измеряет сердечно-сосудистую способность к максимальным нагрузкам и показывает значительную разницу между тренированными и нетренированными испытуемыми. Коэффициент достоверности теста — 0,88, а прогноз с тестом поправляется на 54% по сравнению с прогнозом »вслепую«.

7. Степ-тест измеряет способность сердечно-сосудистой системы к возвращению к норме после субмаксимальной работы. Его коэффициент надежности — 0,84. Он также значительно различает тренированных от нетренированных испытуемых, но его коэффициент достоверности — 0,53 и прогноз улучшается только на 15%.

8. Коэффициент корреляции между степ-тестом и тестом максимального использования кислорода при беге — 0,15, что говорит о том, что они не измеряют одну и ту же особенность, хотя оба различают тренированных от нетренированных испытуемых. Это оправдывает теорию о том, что не существует общей функциональной способности сердечно-сосудистой системы.

be used in practice and those which can, with some accuracy, measure some aspects of the functional ability of the cardiovascular system, were determined.

9. Тесты Шнайдера и Бараха не являются ни надежными, ни дискриминативными измерительными инструментами и с помощью них нельзя измерить функциональную способность сердечно-сосудистой системы.
10. Хотя количество испытуемых было относительно невелико, мы все-таки считаем, что мы смогли установить, какие тесты для определения функциональных способностей сердечно-сосудистой системы могут употребляться в практике и какие могут с определенной точностью измерять некоторые аспекты функциональной способности сердечно-сосудистой системы.

1. UVOD

1.1. *Funkcija kardiovaskularnog sistema i njegovo prilagođavanje potrebama organizma*

Za normalnu funkciju organizma potrebno je, da se neki faktori nutarnjeg miljea održavaju što konstantnijim. Najglavniji od tih faktora su: temperatura, aciditet, koncentracija kisika i hranivih tvari. Primarna funkcija kardiovaskularnog sistema je održavanje cirkulacije krvi, koja transportira kisik, hranive tvari i hormone u tkiva, a iz njih uklanja produkte razgradnje i suvišnu toplinu, te time održava spomenute faktore unutar izvjesnih granica (Morehouse i Miller, 1953).

Aktivnost organizma mijenja se u različitim prilikama, ali najčešće i najviše kod tjelesnog rada. Radi toga je potrebno da se kardiovaskularni sistem neprestano prilagođava na potrebe organizma, tako da potreba i ponuda krvi u cijelom organizmu i u pojedinim organima bude stalno u skladu.

Normalno kardiovaskularni sistem funkcionira po slijedećim principima: 1. Minutni volumen srca se održava koliko god je moguće manjim, 2. Svaki organ dobiva onoliko krvi koliko mu je potrebno, 3. Sve regulacije se vrše bez velike promjene krvnog tlaka (Rein i Schneider, 1955).

Kardiovaskularni sistem se prilagođava na potrebe organizma: 1. Povećanjem količine krvi, koju srce izbacuje u jedinici vremena, 2. Upravljanjem krvne struje u aktivne organe. U procesima prilagođavanja sudjeluje srce kao motor cirkulacije, arterije i vene, koji mijenjaju svoj volumen a time otpor i raspodjelu krvi u organizmu, kapilare, koje svojim otvaranjem u aktivnim organima povećavaju površinu izmjene tvari između krvi i tkiva i određena područja koja služe kao krvni depoi i koja se po potrebi prazne, stavljajući na raspoloženje veće količine krvi (Rein i Schneider, 1955).

Većina autora (Morehouse i Miller, 1953; Rushmer, 1956; Asmussen i Nielsen, 1955 itd.) smatra, da je od svih adaptacijskih mehanizama, povećanje minutnog volumena srca najvažnije po udjelu, koji ima u opskrbi aktivnih mišića krvlju. Ono je također najosjetljivija karika u lancu, jer je gornja granica količine krvi, koju kardiovaskularni sistem može dopremiti aktivnim mišićima skoro uvijek ograničena kapacitetom srca, da poveća svoj minutni volumen. Astrand (1952) je izrazio u to sumnju i smatra, da je kapilarizacija mišića onaj faktor, koji ograničava najveću količinu krvi, koja može proteći kroz aktivni organizam. To je vrlo vjerojatno, ako su aktivne male grupe mišića ili ako je kapacitet srca vrlo velik kao kod njegovih ispitanika. Ako su aktivne velike grupe mišića, vjerojatnije je, da je kod normalnih ljudi, ipak minutni volumen srca onaj meahnizam, koji ograničava količinu krvi, koja može proći kroz aktivno mišićje. Ne treba pri tome zaboraviti, da se kod tjelesnog rada povećava cirkulacija i u drugim vitalnim područjima i da samo jedan dio povećanja minutnog volumena otpada na aktivno mišićje.

Povećanje minutnog volumena postiže se povećanjem srčane frekvencije i povećanjem udarnog volumena srca.

Regulacija srčane frekvencije vrši se iz centra u meduli oblongati preko simpatičkih i parasimpatičkih živaca, koji su raspoređeni po obje arterije i ventrikla, a naročito oko sinus-atrijalnog i atrio-ventrikularnog čvora. Impulsi iz medularnih centara nastaju pod utjecajem podražaja iz mnogih područja u tijelu. Najvažniji su: 1. viši centri centralnog nervnog sistema koji šalju podražaje kod straha, bijesa, radosti, žalosti i pri očekivanju tjelesnog rada, 2. završeci živaca za bol u koži, 3. visceralne aferentne niti iz unutrašnjih organa i krvnih žila, 4. presoreceptori koji se nalaze u sinus caroticusu i stjenkama aorte, 5. presoreceptori koji se nalaze na ulazu velikih vena u srce, 6. kemoreceptori koji se nalaze u glomus caroticusu i aorti. Osim toga na medularne centre utječe sadržaj CO_2 u krvi, hormoni i temperatura krvi (Boas i Goldschmidt, 1932).

Regulacija udarnog volumena srca predmet je velike diskusije naročito u zadnje vrijeme. Po klasičnoj teoriji Starlinga (1918) glavni mehanizam te regulacije nalazi se u stijenkama srca i to vjerojatno u mišićnim fibrilama, od kojih su sastavljene. Po toj teoriji za povećanje udarnog volumena potrebno je povećanje dotoka venozne krvi u srce. Uslijed povećanja dotoka krvi dolazi do povećanja dijastoličkog volumena srca i time do povećanja početne dužine srčanih fibrila. Distenzija fibrila služi kao podražaj za jaču kontrakciju, koja u sistoli izbaci povećanu količinu krvi, koja je ušla u srce. Prema tome je za povećanje udarnog volumena srca potreban mehanizam, koji će srcu dostaviti povećanu količinu krvi, a srce će samo, radi promjene u početnoj dužini fibrila, povećati udarni volumen. Ova teorija potvrđena je mnogim eksperimentima na tzv. srčano-plućnom preparatu i anesteriziranim pokusnim životinjama (Petterson i Starling, 1914; Petterson i suradnici, 1914; Knowlton i Starling, 1912; Guyton, 1955).

Poboljšanjem tehnike istraživanja na intaktnim životinjama i čovjeku pojavile su se sumnje u apsolutnu ispravnost gornje teorije (Stead i Warren, 1947; Katz 1955; Hamilton, 1955; Rushmer, 1955). Prema njoj je za povećanje udarnog volumena potrebno povećanje volumena srca na kraju dijastole. Promatranjem srca rentgenom za vrijeme rada mnogi autori nisu mogli opaziti povećanje dijastoličkog volumena i ako se udarni volumen povećao (Liljenstrand i suradnici, 1938; Nylin, 1943; Sjöstrand, 1953). Isto tako se nije moglo utvrditi povećanje srca niti tehnikom filmskog snimanja rentgenograma srca za vrijeme rada (Rushmer i Thal, 1951). Kjellberg i suradnici (1949) su čak primjetili da se povećanjem intenziteta rada srce smanjuje. Da bi se moglo objasniti povećanje udarnog volumena bez povećanja dijastoličkog volumena, mora se pretpostaviti da na kraju sistole osta-

je u srcu dosta velika količina tzv. rezidualne krvi, koja se po potrebi pojačanom sistolom može izbaciti i tako povećati udarni volumen. Direktno promatranje srca pomoću rentgena pokazuje, da srce normalno ima veliki dijastolički i sistolički volumen. Akcija srca vrši se uz vrlo malu promjenu volumena što se vidi po malim ekskurzijama ruba srca. Kada ispitanik počinje da radi akcija postaje življa, jer uz promjenu frekvencije i silueta srca više mijenja svoj oblik. Kimografskim snimanjem utvrđeno je da se te promjene dešavaju na račun sistoličkog volumena, tj. srce se jače kontrahira (Reindell, 1937). Bing i suradnici (1951) utvrdili su, pomoću tehnike razređivanja indikatora, da u prosjeku količina rezidualne krvi premašuje količinu krvi koju srce izbacuje. Postojanje velikih količina rezidualne krvi utvrđeno je i pomoću kinofluorografske angiokardiografije (Rushmer i Thal, 1951). Krv koja ostaje u svakom ventrikulu na kraju sistole predstavlja rezervu, koja se može upotrijebiti za povećanje udarnog volumena potpunijim sistoličkim pražnjenjem. Isto tako mogućnost srca da se proširi više od normalnog dijastoličkog volumena predstavlja dijastoličku rezervu srca. Prema tome udarni volumen se može povećati potpunijom sistolom, većim dijastoličkim punjenjem ili kombinacijom obih faktora (Rushmer, 1955).

Danas sve više prevladava mišljenje da, kod intaktne neanestezirane životinje i čovjeka, neuralni mehanizam igra dominantnu ulogu u poticaju i integraciji normalne kardiovaskularne regulacije. Prema starijem shvaćanju minutni volumen srca povećava se kod rada pomoću dva paralelna procesa, koji nastaju mišićnom kontrakcijom (Rein, 1941). Povećana potrošnja kisika i povećana produkcija CO_2 i nekih drugih metabolita uzrokuje direktno vazodilataciju u aktivnim mišićima. Smanjeni periferni otpor uzrokuje pad arterijelnog tlaka. Presoreceptorna aktivnost ponovo uspostavlja normalni krvni tlak ubrzanjem srčane frekvencije i vazokonstrikcijom u splanhničkom području. U isto vrijeme mišićna kontrakcija djeluje kao pumpa i šalje krv prema srcu. Venozni dotok krvi se povećava i ventrikuli se jače pune. Ventrikularni miokard se rasteže više za vrijeme dijastole i nastaje jača sistola, koja izbacuje veći udarni volumen krvi.

Gornja teorija se danas kritizira, jer se pomoću nje ne može objasniti činjenica, da se frekvencija srca i udarni volumen povećavaju istovremeno s početkom rada. Osim toga utvrđeno je da krvni tlak ne pada za vrijeme rada, u ventrikulima se uvijek ne povećava tlak punjenja, a volumen srca se često smanjuje, a ne povećava (Asmussen i Nielsen, 1955).

Prema novijem shvaćanju poticaj za regulaciju kardiovaskularnog sistema dolazi iz centralnog nervnog sistema (Rushmer, 1956). Impulsi iz viših centara, koji aktiviraju mišiće vjerojatno direktno utiču i na medularne centre za regulaciju kardiovaskularnog i respiratornog sistema i tako potiču te sisteme na prilagođivanje. Na taj se način može objasniti momentalno povećanje frekvencije srca, povećanje udarnog volumena pojačanom kontraktilnošću, vasodilatacija u aktivnim mišićima, vazokonstrikcija u splanhničkom području i druga prilagođenja. Te reakcije mogu se dopuniti i pojačanom sekrecijom adrenalina iz nadbubrežne žlijezde.

U daljnjem toku rada vjerojatno igraju ulogu i mehanizmi, koji su prije opisani. Kontrakcijom mišića i pojačanom respiratornom aktivnošću dovode se povećane količine krvi iz perifernog venoznog sistema u srce i plućni venozni sistem i time se diže tlak punjenja lijevog ventrikla. Kad se rad nastavlja povećano iskorišćavanje kisika i produkcija ugljičnog dioksida direktno utječu na cirkulaciju krvi kroz kapilare u aktivnim mišićima. Raspodjela krvne struje i minutni volumen srca stalno se prilagođavaju kao reakcija na aferentne impulse koji dolaze u medularne centre sa senzornih završetaka raširenih po čitavom plućnom i kardiovaskularnom sistemu. Tako npr. sudjeluju u regulaciji kardiovaskularnog sistema, djelovanjem na medularne centre, presoreceptori u velikim arterijama, receptori za rastezanje u atrijima i plućnom parenhimu, kemoreceptori i hipotalamički centri za kontrolu temperature i drugih važnih procesa.

1.2. *Određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema*

Zdravo i normalno srce posjeduje veliku rezervu energije potrebne za pokretanje krvi, da se zadovolje potrebe organizma čak i kod velikih napora. Srce udovoljava potrebama organizma za većim količinama krvi kod rada, probave, uzbuđenja, povišene temperature i raznih abnormalnih stanja, slijedećim mehanizmima: povećanjem frekvencije, povećanjem dijastoličkog punjenja, povećanjem sistoličkog pražnjenja. Ako je srce podvrgnuto dulje vremena povećanim naporima, spomenutim mehanizmima pridružuje se još: dilatacija i hipertrofija srca. Funkcionalna sposobnost srca, koja se očituje u spomenutim adaptacijama je kod raznih ljudi različita, a i kod istih ljudi u različito vrijeme.

Zasada još nije potpuno jasno što određuje funkcionalnu sposobnost srca. Vjerojatno da u tome sudjeluje čitav niz faktora kao građa srca, mehanika kontrakcije, biokemijski procesi u stanicama srca, opskrba krvlju, inervacija i hormoni (Roberts, 1952).

Vaskularni sistem udovoljava potrebama organizma za većim količinama krvi upravljanjem krvne struje u aktivne organe, dilatacijom krvnih žila u aktivnim područjima i konstrikcijom u pasivnim. Funkcionalna sposobnost koja se očituje u tim adaptacijama također varira kod raznih ljudi i u razno vrijeme, a određena je nizom morfoloških i fizioloških faktora.

Budući da funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema zavisi od velikog broja adaptacionih mehanizama, direktno mjerenje pojedinih faktora nije dalo očekivane rezultate. Freedman i suradnici (1955) mjerili su direktnom Fickovom metodom minutni volumen srca treniranih atletičara kod rada na biciklergometru i dobili su iste rezultate kao i kod netreniranih, pa čak i slične rezultate koje su drugi autori

(Donald i suradnici, 1955) dobili kod osoba, koje se uopće nisu bavile fizičkim radom. Oni to objašnjavaju time, što su varijacije između pojedinih treniranih osoba i varijacije kod istih treniranih osoba veće nego razlke između treniranih i netreniranih i time što nije bilo moguće postići, radi tehničkih ograničenja, maksimalni minutni volumen srca. Mjerenjem minutnog volumena Grollmanovom metodom, kod maksimalnog napora, Christensen (1931) i Jörgensen (1954) mogli su utvrditi, da trenirani atletičari imaju veći minutni volumen srca nego osobe, koje se ne bave fizičkim radom.

Kako je mjerenje minutnog volumena srca kod rada vrlo komplicirano i zahtjeva specijalne uređaje, razni autori pokušali su odrediti funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema indirektnim metodama. Te metode nazvane su funkcionalne probe kardiovaskularnog sistema i testovi za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema. Kako se testiranjem kardiovaskularnog sistema kod zdravih ljudi želi prognozirati njihova sposobnost za vršenje tjelesnog rada i kako mnogi od tih testova mjere reakciju kardiovaskularnog sistema na neki rad, neki ih autori nazivaju i testovima opće tjelesne sposobnosti (Johnson, 1946; Taylor, 1945).

Najveći broj testova izrađen je na osnovu ponašanja frekvencije srca i arterijalnog tlaka u mirovanju, kod promjene položaja i nakon standardiziranog rada. Te se veličine mogu lagano i brzo mjeriti bez specijalnih uređaja, te su takva ispitivanja moguća na velikom broju ispitanika. S druge strane postoje testovi, koji zahtijevaju specijalne aparature i uređene laboratorije, a koji se osnivaju na mjerenjima potrošnje kisika, kisikova duga, arterijelne saturacije kisikom, snimanju elektrokardiograma, balistokardiograma itd.

Testiranje kardiovaskularne funkcije kod zdravih ljudi najviše se vršilo u svrhu selekcije za specijalne jedinice vojske i oficire, da bi se eliminirali oni, čiji kardiovaskularni sistem neće moći podnijeti izvanredne tjelesne napore (Schneider, 1920; Karpovich i Weiss, 1946; Balke i suradnici, 1955). Isto tako je velika primjena testova u sportskoj medicini u svrhu kontrole treniranosti i kardiovaskularne sposobnosti sportaša (Cureton, 1951; Chailley-Bert, 1956; Letonov, 1956). Rjeđa je upotreba za selekciju industrijskih radnika (Ivy, 1942; Lehmann, 1953), kontrolu rehabilitacije (Karpovich i suradnici, 1944), ispitivanje prehrane (Keys i suradnici, 1945) itd.

Osim specijalnih metoda, kardiovaskularni testovi upotrebljavaju se i u kliničkoj medicini kod srčanih bolesnika u cilju, da se utvrdi sposobnost za rad i kontroliraju efekti terapije (Master, 1935; Schellong, 1932; Knipping, 1938). Dijagnoza srčanih oboljenja pomoću testova nije pouzdana, jer funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema može biti vrlo dugo održana i pokraj organske lezije (Cournand i suradnici, 1951).

Testiranja funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema vršena su prvo u mirovanju ili kod malih napora. Konstrukcijom raznih aparata za doziranje rada, ergometra i pokretnog saga, prešlo se na testiranje i kod većih napora. Kako se uvidjelo da su razlike između sposobnog i nesposobnog to veće što je veće opterećenje, to su konstruirani i testovi, koji se vrše kod maksimalnog napora za koji je ispitanik sposoban. Kod tih submaksimalnih i maksimalnih testova aktivira se čitav organizam i prema tome to postaju testovi ne samo sposobnosti kardiovaskularne funkcije, nego opće tjelesne sposobnosti. U cilju da se ispita maksimalna funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema nerijetko se događa da zataje drugi sistemi kao respiratorni i neuromuskularni. Pri tome se često ne radi zapravo o funkcionalnom zatajenju tih sistema nego o subjektivnim simptomima, koji nastaju sa strane tih sistema. Ispitanik osjeća dispneju, umor i bol u mišićima i radi toga odustaje od daljeg rada. Osjetljivost na te simptome je kod raznih ljudi različita i zavisi od viših nervnih faktora (Bruce i suradnici, 1949). Radi toga kod ovakvih testova važna je i motivacija ispitanika, tj. nastojanje da se pored subjektivnih neugodnosti, koje mogu nastati, test izdrži propisano vrijeme, a da ispitivač mjeri samo objektivnu reakciju kardiovaskularnog sistema.

Kratki historijat

Na području ispitivanja funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema postoji ogroman broj različitih radova. Jedni se sastoje od opažanja koja su autori učinili na pojedinim ispitanicima, drugi od opažanja na većm skupinama. U oba slučaja nije se išlo dalje od konstatacije, da postoje izvjesne razlike između ispitanika, za koje se smatralo da imaju dobar ili los kardiovaskularni sistem i da te razlike postoje zbog različite funkcionalne sposobnosti. Znatno manji broj autora pokušao je na osnovu svojih i tuđih opažanja konstruirati testove, koji bi kvantitativno ocijenili funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema kod različitih ljudi. Većina testova konstruirana je sasvim arbitrarno po šemi, koju je autor sam postavio i, prema tome, ne zadovoljava one principe, koji su potrebni da bi test zaista bio mjerni instrument. Tokom vremena pojavio se čitav niz modifikacija originalnih testova, tako da je literatura o testovima postala ogromna. Zbog toga ćemo u ovom pregledu spomenuti samo originalne testove i one koji se najviše upotrebljavaju.

Testovi za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema mogu se podijeliti na one, koji se vrše u mirovanju i nakon malog napora, one, koji se vrše za vrijeme i nakon submaksimalnog napora i one, koji se vrše kod maksimalnog napora.

Testovi koji se vrše u mirovanju i nakon malog napora

Prvi testovi kardiovaskularne funkcije vršeni su u mirovanju. Oni su se temeljili na opažanjima da neke osnovne manifestacije kardiovaskularnog sistema, kao frekvencija pulsa i krvni tlak imaju, kod ljudi koji se

bave fizičkim radom i koji su klinički zdravi, niže vrijednosti i da se kod promjene položaja manje mijenjaju nego kod bolesnih i slabih. Tako je Crampton, 1905, opisao svoj test koji uzima u obzir promjene u frekvenciji pulsa i krvnog tlaka kod promjene položaja iz ležećeg u stojeći. Kod ljudi s dobrom kardiovaskularnom funkcijom tlak će kod stajanja porasti, a frekvencija pulsa ostaje ista ili se malo poveća. Kod ljudi s lošom kardiovaskularnom funkcijom tlak pada, a frekvencija pulsa jako naraste. Na osnovu jedne šematske tablice svaki ispitanik dobije izvjestan broj bodova od 0 do 100 prema tome koliko se tlak ili frekvencija pulsa kod promjene položaja promjenio, narastao ili se smanjio.

Barach je, 1914, objavio test, koji uzima u obzir frekvenciju pulsa, sistolički i dijastolički tlak. Iz tih podataka izračunava se »indeks snage cirkularnog sistema«. Vrijednost varira od 70 do 240 i manji rezultati ukazuju na bolju »snagu cirkulatornog sistema«.

Iste godine Forster predlaže svoj test kod kojega se, osim frekvencije pulsa pri stajanju, uzima u obzir frekvencija pulsa nakon 30 sekundi trčanja u mjestu i frekvencija nakon 45 sekundi odmora.

Jedan od najviše upotrebljavanih testova bez sumnje je Schneiderov test, koji je objavljen 1920. On uzima u obzir frekvenciju pulsa pri ležanju i pri stajanju, razliku između tih frekvencija, povećanje frekvencije nakon 5 minuta penjanja na klupicu, vrijeme koje je potrebno da se puls vrati na normalu i veličinu promjene sistoličkog tlaka kod stajanja i ležanja. Svaka od tih varijabila boduje se prema danim tablicama, a rezultat testa izražava se sumom bodova. Schneiderov test upotrebljavan je za testiranje američkih avijatičara nakon prvog i za vrijeme drugog svjetskog rata.

Po uzoru na Schneiderov test konstruirali su kasnije slične testove i neki evropski autori. Mjesto penjanja na klupicu oni su upotrijebili kao opterećenje čučnjeve (Martinet, Lorenc), dizanje koljena do horizontale (Lian) i penjanje uz stube (Schellong).

U engleskoj avijaciji upotrebljavao se Flackov test objavljen 1921. On se sastoji u mjerenju izdržljivosti i frekvencije pulsa za vrijeme puhanja u savinutu cijev protiv tlaka od 40 mm Hg. Bürger (1929) je upotrijebio istu metodiku, samo što je mjesto frekvencije pulsa mjerio sistolički tlak.

Master je, 1929, standardizirao opterećenje za svoj test prema težini i spolu ispitanika upotrebljavajući različiti broj penjanja na dvije stube. Kao indeks sposobnosti i on je uzeo frekvenciju pulsa u oporavku.

McCloy je, 1931, kritizirao Schneiderov test i predložio novi test koji uzima u obzir samo dijastolički tlak u stajanju, frekvenciju pulsa u stajanju i nakon penjanja na klupicu.

Tuttle je, 1931, uveo novi princip. Kao indeks sposobnosti upotrijebio je broj penjanja na klupicu, koji izaziva takvu reakciju frekvencije pulsa, da je odnos između pulsa u mirovanju prema pulsu mjerenom u dvije minute oporavka 1 : 2,5.

U Evropi je mnogo radio na problemu testiranja Schellong. On je, 1932, objavio svoj test, koji uzima u obzir frekvenciju pulsa i krvni tlak u ležanju i promjene kod stajanja kao i promjene kod ponovnog lijeganja. Isto tako je promatrao promjene sistoličkog i dijastoličkog tlaka te frekvenciju pulsa neposredno nakon penjanja uz stube i tok oporavka. Objavio je, 1938, monografiju, u kojoj je proširio svoj test dodavši i opažanja promjena u elektrokardiogramu nakon opterećenja. Schellongov test ne daje nikakvu kvantitativnu ocjenu kardiovaskularne sposobnosti, nego na osnovu opažanja gornjih faktora dijeli kardiovaskularnu regulaciju na normalnu, hipotonu i hipodinamičnu. Čitav sistem je vrlo kompliciran i interpretacija je neobjektivna.

Drugi test, koji se mnogo upotrebljavao u Evropi je Lorenzov, objavljen 1936. On se osniva na ocjeni kardiovaskularne sposobnosti na osnovu frekvencije pulsa prije i poslije 10 čučnjeva, mjerene u intervalima po 5 sekundi. I taj test nema kvantitativnog rezultata, nego se interpretira prema pravilnosti i veličini frekvencije u petsekundnim intervalima prije čučnjeva i brzini vraćanja na normalu i pravilnosti poslije čučnjeva. Na osnovu tih faktora daje se ocjena loš, dobar i odličan.

Submaksimalni testovi

Sve većom upotrebom kardiovaskularnih testova uvidjelo se da mjerenja u mirovanju i kod malog napora stoje previše pod utjecajem različitih vanjskih, senzornih i psihičkih faktora. Već sama prisutnost liječnika ili eksperimentatora može povisiti puls i tlak u mirovanju, a različite promjene u neurovegetativnom tonusu mogu ih tako mijenjati, da je teško dobiti pouzdane podatke, koji bi se mogli reproducirati ponovnim mjerenjem. Radi toga počelo se primjenjivati testove s većim opterećenjem, kod kojih spomenuti utjecaji ne dolaze toliko do izražaja.

Christensen je pokazao (1931), da se treningom snizuje frekvencija srca za vrijeme rada određenog intenziteta. Robinson je (1938) u svojim istraživanjima o utjecaju starosti na tjelesnu sposobnost uzeo frekvenciju srca kod određenog rada kao jedan od kriterija te sposobnosti. Lehmann i Michaelis su 1941 g. konstruirali test, kod kojega su mjerili frekvenciju pulsa i sistolički tlak za vrijeme progredijentno većeg rada na biciklergometru. Kao kriterij sposobnosti uzeli su vrijeme koje je bilo potrebno da produkt između frekvencije srca i sistoličkog tlaka naraste do 10.000. Taylor C. (1944) također smatra frekvenciju pulsa za vrijeme submaksimalnog rada kao znak dobre kardiovaskularne sposobnosti. Wahlhund je, 1948, konstruirao test, kod kojeg se određuje opterećenje na biciklergometru kod kojeg frekvencija pulsa dostiže vrijednost od 170. Slično je Balke, 1954, konstruirao test kod kojega se određuje vrijeme, koje je potrebno da se kod progredijentnog napora na pokretnom sagu dos-

tigne puls od 180. Müller je 1950 godine mjerio prosječno povećanje pulsa u minuti na povišenje opterećenja kod biciklergometra za 1 mkg/sek. Bruce sa suradnicima je 1950 godine izvršio detaljnu analizu različitih varijabila kardiovaskularne funkcije kod zdravih i bolesnih i na osnovu toga konstruirao test hodanjem po pokretnom sagu, koji uzima u obzir postotak kisika, koji ispitanik absorbira iz jedne litre zraka za vrijeme hodanja i puls u oporavku nakon rada. Astrand je, 1952, došao do zaključka da ljudi s većim maksimalnim potroškom kisika, tj. boljom funkcionalnom sposobnošću, imaju kod submaksimalne vježbe niži puls. Na osnovu njegovih opažanja je Ryhming, 1953, konstruirala test, kod kojega ispitanici vrše step test i mjeri im se puls za vrijeme rada. U koliko im je puls niži, u toliko je po priloženim tablicama maksimalna potrošnja kisika veća, odnosno u toliko je bolja kardiovaskularna funkcija.

Upotreba submaksimalnih i maksimalnih testova povezana je s tehničkim usavršavanjem raznih aparata za doziranje tjelesnog napora, biciklergometra i pokretnih sagova. Osim toga kardiovaskularni testovi se sve više upotrebljavaju ne samo za testiranje kardiovaskularne funkcije nego i opće tjelesne sposobnosti, koja je usko vezana za kardiovaskularnu sposobnost. Već i kardiovaskularni testovi u mirovanju upotrebljavali su se i kao mjera tjelesne sposobnosti, ali to naročito vrijedi za submaksimalne testove, jer oni osim kardiovaskularnog sistema zahtijevaju rad cijelog organizma, a naročito neuromuskularnog aparata.

Maksimalni testovi

U cilju da se izmjere krajnje granice funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema neki su autori konstruirali maksimalne testove. Kod tih testova ispitanik vrši rad subjektivno maksimalnim naporom obzirom na opterećenje, trajanje ili ukupnu količinu rada. Ocjenjivanje se vrši ili prema izvršenom radu ili prema fiziološkim reakcijama za vrijeme ili nakon rada. Loša strana tih testova je da oni jako zavise od subjektivnog osjećaja napora ispitanika i njegove motivacije da podnese napor.

Johnson i Brouha u laboratoriju za umor Harvardskog sveučilišta publicirali su 1942 godine test, koji uzima u obzir maksimalni puls, koncentraciju mliječne kiseline u krvi i izdržljivost za trčanje na pokretnom sagu. Isti autori 1942 publicirali su i drugi test, koji uzima u obzir izdržljivost mjerenu u sekundama i frekvenciju pulsa u oporavku. Brouha i suradnici su 1943 objavili modifikaciju tog testa, mjereći iste veličine s tim da su mjesto trčanja na pokretnom sagu kao napor upotrebili penjanje na klupicu. To je poznati Harvard step test, koji se mnogo upotrebljavao za selekciju američkih vojnika u drugom svjetskom ratu.

Taylor je, 1944, konstruirao test, koji uzima u obzir trajanje trčanja na pokretnom sagu, kod kojega se svake minute povećava nagib za 1° i neke karakteristike krivulje frekvencije srca za vrijeme toga trčanja.

Neki testovi spomenuti kao submaksimalni također predstavljaju za neke ispitanike maksimalne testove, jer oni na primjer, frekvenciju pulsa od 180 postižu tek maksimalnim tjelesnim naporom.

Hill i Lupton 1923 godine došli su do zaključka, da se mjerenjem potrošnje kisika kod maksimalnog napora može najbolje odrediti sposobnost adaptacije kardiovaskularnog sistema, jer je maksimalna količina kisika, koja se može potrošiti zavisna od maksimalnog minutnog volumena srca. Njihove nazore potvrdili su Herbst, 1928, Hermansen, 1938 i Knipping, 1938, koji je osnovao čitavu školu svojih sljedbenika i razradio metodu spiroergografije. Ta metoda služi za funkcionalno ispitivanje respiratornog i cirkulatornog sistema, kako kod bolesnika tako i kod zdravih ljudi. Princip metode je da se određuje potrošnja kisika Knippingovim spirometrom kod rada na ergometru, koji se okreće rukama kod sve većeg opterećenja dok se ne postigne maksimalna potrošnja. Ova metoda je kritizirana, jer rad rukama aktivira premali broj mišića, da bi se mogla izazvati maksimalna potrošnja kisika. Većina autora određuje maksimalnu potrošnju kod trčanja na pokretnom sagu. Robinson je, 1938, maksimalnu potrošnju kisika uzeo kao jedan od glavnih kriterija za određivanje sposobnosti raznih dobnih skupina. Metodiku su razradili u zadnje vrijeme Astrand, 1952, i Taylor i suradnici 1955 godine.

1.3. *Teorija testiranja*

Metode nauke su u toku stoljeća evoluirale od čistog opažanja, pravljenja hipoteza i utvrđivanja njihove ispravnosti do kvantitativnih metoda određivanja kvaliteta. Osnova moderne nauke je mjerenje, tj. kvantitativno određivanje kvaliteta. Danas se ne mjeri samo u fizici i kemiji nego i u drugim naukama. »Sve štogod postoji, postoji u nekoj količini« (Thorndike, 1918), a štogod postoji u količini može se mjeriti. Razrada metoda mjerenja fizioloških, psiholoških i socioloških fenomena povezana je s razvitkom statistike (Clarke, 1951).

Mjerenja su numerički opisi položaja objekata na nekoj skali. Skala je linearni kontinuum, duž kojega se mogu smjestiti objekti ili fenomeni prema nekoj apstrahiranoj osobini ili kvaliteti (Guilford, 1950). Razlikuje se nekoliko vrsta skala. Na ordinalnoj skali brojevi određuju samo da li je nešto veće ili manje od drugoga, ali razlike između pojedinih jedinica nisu jednake. Kod intervalnih skala poznat je ne samo redoslijed, nego i razlika brojeva na skali, jer je u tim skalama neka definirana razlika jednaka na svakom dijelu skale.

Testiranje se osniva na slijedećim predpostavkama: 1. ljudske osobine, koje se razlikuju u veličini, mogu se prikazati brojkama, 2. osobine, koje se razlikuju u veličini mogu se smatrati kao kontinuirane varijabile i 3. veličina kriterija može se izraziti kao linearna funkcija prognostičkih varijabila (Bechtholdt, 1951).

Test je standardizirani postupak, kojim se izaziva aktivnost nekog sistema i zatim mjeri reakcija. Standardizacija se odnosi na uvjete, pod kojima se test vrši, na metodu kako se izaziva aktivnost i na metodu kako se mjeri reakcija. Osim toga standardizacija se odnosi također na interpretaciju rezultata, točnost, kojom su oni određeni i djelotvornost, kojom mjere dotičnu pojavu.

Reakcija koja se izaziva i mjeri testom mora biti što neposredniji izražaj aktivnosti koja se mjeri, ona mora biti što bolji simptom te aktivnosti (Bujas R. i Z., 1942). Uvjeti pod kojima se test primjenjuje moraju biti uvijek jednaki, tj. treba nastojati da je temperatura prostorije jednaka, da testiranju prisustvuje samo potreban broj osoblja, da se testiranje vrši u određeno doba dana itd. Osim toga treba paziti da je ispitanik u određenom stanju zdravlja, da je normalno spavao i uopće da se nalazi u »normalnom stanju«. Važno je također da je metoda kojom se izaziva reakcija točno određena, kao na primjer brzina i nagib pokretnog saga ili broj penjanja na klupicu da je uvijek isti. Nestandardizirane metode opterećenja kao čučnjevi ili trčanje u mjestu imaju malu vrijednost. Metode mjerenja reakcije moraju biti također uvijek iste i pouzdane. Mjerenje frekvencije pulsa palpacijom kod visokih frekvencija potpuno je nepouzdano. Mjerenje dijastoličkog tlaka zavisi često od pritiska stetoskopa i kriterij za očitavanje nije uvijek isti. Sistolički tlak također zavisi od mjesta gdje je stavljena manžeta tlakomjera, da li se mjeri jedanput ili više puta, da li se mjeri auskultatorno ili palpatorno itd. Svi ti faktori utječu u krajnjoj liniji na metrijske karakteristike testa, koje će se kasnije razmotriti.

Rezultati, koji se dobivaju testiranjem izražavaju se određenim brojem konvencionalnih jedinica, koje zavise od reakcije, koju smo mjerili i instrumenta, koji smo upotrijebili. Dobiveni broj sam po sebi ne kazuje ništa o sposobnosti, koju smo htjeli mjeriti. Da možemo odrediti vrijednost dobivenog rezultata, treba konvencionalne jedinice svesti na drugi sistem jedinica. Te nove jedinice dobivaju se baždarenjem testa.

Baždarenje testa sastoji se u konstrukciji skale, po kojoj će se određivati relativna vrijednost svakog rezultata.

Kao osnovna mjera uzima se srednji rezultat reprezentativne grupe ispitanika, koji predstavlja normalu i dopušta da uspoređivanjem pojedinih rezultata s tim standardom utvrdimo da li je rezultat nekog individuuma iznad ili ispod normale.

Za točnije mjerenje potrebno je mjerni instrument još i graduirati tako, da se može kazati ne samo da li je postignuti rezultat iznad ili ispod, nego i koliko je iznad odnosno ispod normale. Skala se može konstruirati na više načina. Najčešće se upotrebljava metoda decila i metoda smanjenih razlika.

Baždarenjem testa postiže se poznavanje vrijednosti svakog individualnog rezultata prema postavljenoj normi, ali da bi test postao stvarni mjerni instrument moraju se ispitati i neke osnovne metrijske karakteristike testa kao što su: dosljednost, valjanost i osjetljivost.

Metrijske karakteristike testa

Vjernost ili dosljednost testa

Kad god se nešto mjeri bilo u fizikalnim, bilo biološkim ili socijalnim naukama, mjerenje sadrži izvjesnu količinu slučajne pogreške. Ona može biti velika ili malena, ali uvijek postoji. Ako je slučajna pogreška malena, obzirom na razliku između osobe i osobe, onda je vjernost ili dosljednost mjerenja velika. Ako je slučajna pogreška velika obzirom na razlike između osoba, koje se mjere, vjernost je mjerenja malena (Thorndike, 1949).

Za neki test kažemo da je vjeran ili dosljedan ako sukcesivna mjerenja iste osobe ili veličine daju identične rezultate (Bujas R. i Z., 1942). Mjerenja u biološkim naukama podvrgnuta su mnoštvu varijabilnih faktora, pa se i pod najboljim eksperimentalnim uvjetima mora očekivati pogreška u mjerenju.

Faktore koji utječu na rezultate testa možemo podijeliti na one koji su konstantni i koji uvjetuju razlike između različitih individua i one, koji su promjenljivi i koji uvjetuju razlike između ponovljenih mjerenja kod istih ispitanika. U prvu grupu spadaju individualni status u nekoj sposobnosti ili osobini i eventualno vještina da se izvrši neki određeni test. U drugu grupu spadaju momentana dispozicija ispitanika, promjene u okolini ili promjene kod ispitivača. Stanje zdravlja, emocionalni status, umor. dosada i slično mogu se mijenjati od dana do dana. Okolni uvjeti kao temperatura, vlažnost, barometarski tlak, svjetlo, ventilacija i slično, također utječu na mjerenje. Privikavanje na mjerenje, trening i učenje mogu također djelovati. Tu se mora uzeti u obzir i greška u aparaturi, kojom se mjeri ili u metodici, koju nije moguće uvijek potpuno reproducirati, pogotovo ako ispitivač nije dovoljno uvježban.

Vjernost testa određuje se tako da se u većoj grupi ispitanika istim testom, pod istim uvjetima, u kratkom vremenskom razmaku neka osobina dva puta izmjeri, te da se izračuna koeficijent korelacije između ta dva mjerenja. Što je greška mjerenja manja, obzirom na razlike između pojedinaca tj. što oni bolje zadrže svoj rang kod ponovljenog mjerenja, koeficijent vjernosti bit će veći.

Koeficijent vjernosti je najvažnija metrijska karakteristika svakog mjernog instrumenta i ako se hoće mjeriti individualne razlike onda koeficijent vjernosti mora biti iznad 0,80. Za mjerenje grupnih razlika mogu se upotrijebiti testovi i s koeficijentom vjernosti iznad 0,70.

Pomoću koeficijenta vjernosti možemo izračunati i pogrešku jednog jedinog rezultata po formuli:

$$\delta_x = \delta \sqrt{1-r_{1,2}}$$

δ_x je pogreška jednog rezultata, δ je standardna devijacija testa, a $r_{1,2}$ koeficijent vjernosti testa.

Valjanost testa

Valjanost je osobina mjernog instrumenta da uistinu mjeri ono, što autor namjerava mjeriti. Za različite fizikalne mjerne instrumente je očito da mjere ono što se tvrdi da mjere. Kod testova, veza između brojeva i stvari, za koje oni stoje nije tako očita. Radi toga, pri konstrukciji testa, autor mora da pridonese dokaze za svoju tvrdnju, da test mjeri one osobine, za koje je namjenjen.

Veliki broj testova sastavljen je na osnovu spekulativnog razmišljanja pojedinih autora, koji smatraju da neki test mjeri izvjesnu osobinu, a pri tome se pozivaju na svoje iskustvo i logično zaključivanje. Vrlo se često kasnije utvrdi da takva osobina uopće ne postoji ili da je produkt različitih nezavisnih osobina.

Da bi se moglo nešto mjeriti potrebno je, prije svega, utvrditi da li dotična osobina uopće postoji i da li se ona može izolirati i točno definirati. Test će biti to valjaniji što izaziva izražaj samo jedne dobro određene osobine. Valjan test treba biti takav, da izazvani fenomen bude učinak što manjeg broja različitih faktora (Bujas R. i Z., 1942).

Da bi autor testa mogao da dokaže da test uistinu mjeri onu osobinu, koju smatra, on mora usporediti svoj test s nekim drugim objektivnim izražajem osobine koju mjeri. Taj drugi izražaj osobine zove se kriterij. Rezultati testa se uspoređuju s veličinom kriterija i ako oni pokazuju visoku zavisnost, autor može zaključiti da njegov test mjeri istu osobinu kao i kriterij. Zavisnost se izražava koeficijentom korelacije, koji se naziva koeficijent valjanosti.

Koeficijent valjanosti zavisi od strukture testa, ali i o tome kako je izabran kriterij. Ako kriterij nije potpun i siguran onda niti dobiveni koeficijent nema značenja (Bujas R. i Z., 1942).

Najosnovniji i najteži problem kod određivanja valjanosti je kako izabrati adekvatan kriterij onoga što želimo mjeriti. U primjenjenim znanostima kao kriterij se obično uzima uspjeh u nekoj životnoj aktivnosti, u zvanju ili nekim određenim zadacima. Izabrani kriterij može imati malenu vjernost i valjanost obzirom na osobinu, koju bi trebao predstavljati. Jasno je da u tom slučaju koeficijent valjanosti između testa i kriterija nema vrijednosti, jer ne kazuje ništa.

Kriteriji se mogu podijeliti na tri vrste: 1. kriterije produkata neke aktivnosti, 2. kriterije neke akcije u terminima vremena i prostora i 3. kriterije subjektivnih ili objektivnih sudova. Često se kao kriterij upotrebljava neki stari test, koji se navodno pokazao uspješan za mjerenje određene sposobnosti, ali se takvi kriteriji ne preporučuju, jer se oni osnivaju obično na autoritetu autora, koji je test sastavio, a da možda uopće nije dokazao njegovu valjanost. U slučaju da nije tako, onda bi bolje bilo upotrebiti i za validaciju novog testa kriterij, koji je dotični autor izabrao za validaciju svog testa.

Određivanje ovisnosti između testa i kriterija vrši se računanjem koeficijenta korelacije. Izbor koeficijenta korelacije ovisi o tome u kakvom obliku imamo kriterij. Ako su i rezultati testa i kriterij izraženi u brojkama, koje imaju pravilnu distribuciju, onda je najbolje izračunati Pearsonov koeficijent korelacije. Ako je kriterij ocjenjen samo rangom izračunava se Spearmanov koeficijent. U slučaju ako je kriterij dan samo u dvije grupe, dihotomni kriterij, onda se izračunava biserijalni r ili koeficijent asocijacije Q. Ako su i test i kriterij dihotomni, onda se može upotrebiti Θ koeficijent.

Valjanost testa može se grubo odrediti i izračunavanjem značajnosti razlike srednjih vrijednosti dvaju kontrastnih grupa pomoću t-testa.

Pomoću koeficijenta valjanosti može se odrediti i prognostička vrijednost testa, tj. može se izračunati koliko se primjenom određenog testa može poboljšati prognoza kriterija. Ako bi pokušali prognozirati kriterij bez poznavanja rezultata testiranja, onda bi najmanju pogrešku učinili, ako bi ispitaniku prognozirali srednju vrijednost rezultata u kriteriju. To je takozvana prognoza na slijepo. Pogreška koju tu činimo jednaka je standardnoj pogrešci rezultata u kriteriju.

Ako nam je poznat koeficijent valjanosti nekog testa onda možemo pomoću jednadžbe crte regresije za svaki individualni rezultat u testu izračunati i odgovarajući rezultat u kriteriju. Pogreška, koja se vezuje na taj rezultat dana je standardnom pogreškom ocjene (djelomičnim raspršenjem), δ_{yx}. Standardna pogreška ocjene je uvijek manja od standardne pogreške kriterija, a može se izračunati pomoću nje i koeficijent valjanosti po formuli:

$$\delta_{xy} = \delta \sqrt{1-r^2}$$

Izraz $\sqrt{1-r^2}$, koji se naziva koeficijent alienacije pokazuje za koliko se smanjuje greška naše prognoze pomoću testa od prognoze na slijepo. Ako želimo izračunati u postocima za koliko se testom popravlja naša prognoza, onda koeficijent alienacije odbijemo od 1 i pomnožimo sa 100. Taj izraz zove se prognostička efikasnost testa. Prema tome

$$E = 100\,(1-\sqrt{1-r^2}) \qquad \text{(Guilford, 1950).}$$

U slučaju da je kriterij dan u dvije kategorije prognostička vrijednost se izračunava drugačije. Dok u slučaju kad prognoziramo numeričke rezultate tražimo za koliko se smanjuje pogreška, u ovom slučaju tražimo koliko se testom povećava broj točnih prognoza.

Osjetljivost testa

Osjetljivost nekog mjernog instrumenta očituje se u tome, da registrira i male razlike u mjerenoj veličini. Isto tako osjetljivost nekog testa je njegova karakteristika da mjeri i male razlike među izazvanim reakcijama. Osjetljivost testa pokazuje se u broju kategorija u koju dolazi većina ispitanika. Što je test osjetljiviji, to ima i veći broj kategorija. Potpuno neosjetljiv test ima samo jednu kategoriju, u kojoj se nalaze svi rezultati; maksimalno osjetljiv test ima toliko kategorija koliko i rezultata. Praktično, svaki se test nalazi između ta dva ekstrema.

Osjetljivost testa zavisi, također, i od težine testa. Ako je test pretežak, onda će većina ispitanika imati slične rezultate i pasti u mali broj niskih kategorija. Isto tako, ako je test prelagan, onda će većina ispitanika pasti u mali broj visokih kategorija. Samo test primjeren po svojoj težini sposobnosti ispitivane grupe može biti osjetljiv test. U tom slučaju distribucija rezultata će biti pravilna, i isti broj ispitanika bit će ispod i iznad norme.

Osjetljivost nekog testa može se ocijeniti po standardnoj devijaciji rezultata grupe ispitanika. Što je raspršenje rezultata oko reprezentativne vrijednosti veće, to je test osjetljiviji. Realna osjetljivost testa zavisi i od vjernosti testa, odnosno o pogrešci, koja se vezuje uz dobivene rezultate. Finoća kategorija ne smije biti veća od pogreške jednog rezultata.

2. PROBLEM

Iako je literatura o određivanju funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema obimna i broj objavljenih testova velik, ipak imamo vrlo malo objektivnih podataka o vrijednosti tih testova. Mnogi testovi nisu dovoljno standardizirani obzirom na izazivanje reakcije, a metode mjerenja su nepouzdane. Baždarenje testova nije provođeno. Obično je autor dao neku »normalnu« vrijednost za svoje bodove ili indeks, ali skala za finiju diferencijaciju nije pravilno graduirana. Metrijske karakteristike većinom nisu određivane. Validacija testova sastojala se u tome, da se na pojedinim »tipičnim« slučajevima pokazalo kako predloženi test može diferencirati ljude s dobrim ili lošim kardiovaskularnim sistemom (Schellong, 1932; Knipping, 1938; Lorenz, 1936). Neki američki autori mogli su pokazati da njihovi testovi mogu razlikovati grupe koje na osnovu kliničkog nalaza predstavljaju »tjelesno jake i sposobne ljude« od nasumce izabranih normalnih ljudi (Schneider, 1920) ili da mogu razlikovati studente, koji se bave sportom, od studenata koji se sportom ne bave (Johnson i Brouha, 1942). Dalja statistička analiza nije provedena.

Obzirom da postoje različita i često suprotna mišljenja o praktičnoj vrijednosti testova za određivanje funkcije kardiovaskularnog sistema (Johnson, 1946; Taylor, 1945; Chailley-Bert, 1956; Letonov, 1956), odlučili smo ispitati neke od njih i utvrditi njihovu pravu vrijednost. Pri tome smo se služili metodama koje se primjenjuju za ispitivanje testova u psihologiji. Naš problem je bio — kakve su metrijske karakteristike testova za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema.

Od mnogih kardiovaskularnih testova izabrali smo četiri tipična testa. Prvim se mjeri aktivnost kardiovaskularnog sistema za vrijeme maksimalnog rada. To je test maksimalne potrošnje kisika. Drugi je step test, kojim se mjeri reakcija frekvencije srca na submaksimalni rad. Treći je kombinacija različitih mjerenja u mirovanju, neposredno iza laganog napora i u oporavku. To je Schneiderov test. Četvrti je Barachov test, koji uzima u obzir samo vrijednosti u mirovanju.

Za spomenute testove odredili smo norme i konstruirali skale za određivanje vrijednosti rezultata, a zatim odredili njihovu osjetljivost, vjernost i valjanost. Ispitivanja smo proveli kod dvije normalne grupe ispitanika, jedne netrenirane i jedne trenirane. U prvoj grupi nalazili su se vojnici, slušaoci bolničarskog tečaja, a u drugoj sportaši ,koji već godinama sistematski treniraju trčanje na duge staze ili plivanje. Pri tome smo pošli od pretpostavke da trenirani ispitanici imaju veću funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema, koju su stekli treningom svoje sportske discipline.

3. METODE

3.1. *Ispitanici*

Polazeći od hipoteze da zdravi mladi ljudi, koji nisu podvrgnuti nikakvom specijalnom treningu imaju normalnu funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema i da se moraju razlikovati od isto takvih ljudi, koji intenzivno treniraju neki sport, koji zahtijeva vanrednu funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema, ispitali smo dvije grupe ispitanika, jednu netreniranu i jednu treniranu.

Netrenirana grupa sastojala se od 46 vojnika slušača bolničarskog tečaja. Ti ispitanici provodili su normalni vojnički život i nisu se bavili nikakvim specijalnim sportom. Osim toga, kako su bili na bolničarskom tečaju, većinu vremena provodili su u učionici i nisu vršili specijalne vojničke vježbe. Grupa je formirana po abecednom spisku i može se uzeti da su ispitanici izabrani nasumce.

Trenirana grupa sastojala se od treniranih sportaša i to trkača na duge i srednje staze, te plivača i vaterpolista. Ti su ispitanici redovito trenirali sportske discipline, koje zahtjevaju vanrednu funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema. Trkači su trenirali 5 do 7 puta tjedno, a plivači i vaterpolisti 3 do 6 puta. I jedni i drugi su se nalazili na vrhuncu svoje »sportske forme«. U tabeli 1. prikazane su osnovne karakteristike ispitivanih grupa.

Tabela 1.

	Netrenirani			Trenirani		
Broj ispitanika	46			46		
	M	SP	SD	M	SP	SD
Godine starosti	20,46	0,11	0,76	22,43	0,61	4,11
Težina (u kg)	67,63	0,92	6,25	73,35	1,73	11,69
Visina (u cm)	174,15	0,79	5,38	178,54	1,33	9,04

3.2. *Opći uvjeti testiranja*

Ispitivanja su vršena prije podne od 8 do 12 sati. Ispitanici su pojeli svoj uobičajeni doručak sat do dva prije ispitivanja. Temperatura prostorije u kojoj je vršeno ispitivanje iznosila je 20 do 23°C. Isptivanja su vršena u jesen i početkom zime. Ispitanici su bili obučeni u gimnastičku opremu, tj. gaćice i gumene polucipele. Ispitanici koji se na dan ispitivanja nisu dobro osjećali ili koji su prethodni dan ili noć bili izloženi neuobičajenim naporima (dežurstva kod vojnika, natjecanja kod sportaša) nisu toga dana bili ispitivani.

3.3. *Testovi*

Test maksimalne potrošnje kisika

Hill, Long i Lupton (1924) došli su do zaključka da maksimalna potrošnja kisika, koja se može postići kod rada, koji aktivira velike grupe mišića, zavisi od maksimalnog minutnog volumena srca i prema tome se može smatrati kao pouzdana mjera funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema. Pojedinačnim ispitivanjima kod atletičara i običnih ljudi autori su pokazali da prvi postižu za vrijeme trčanja na stazi veću maksimalnu potrošnju kisika. Herbst je, 1928, umjesto trčanja na stazi, upotrebio trčanje na mjestu kao opterećenje kod kojeg je potrošnju kisika tehnički lakše mjeriti. Ispitivanjem atletičara, običnih ljudi i bolesnika on je također mogao utvrditi da među njima postoje razlike u maksimalnoj potrošnji kisika i, dok su atletičari imali najveću potrošnju, bolesnici, koji su bolovali od srčanih i plućnih bolesti imali su najmanju. Knipping je, 1937, također mjerio maksimalnu potrošnju kod zdravih i bolesnih, ali je kao opterećenje upotrebio rad na ručnom ergometru. Iako rad rukama ne mobilizira dovoljno velike grupe mišića, Knipping je utvrdio da maksimalna potrošnja kisika postignuta njegovom metodom može razlikovati zdrave osobe od srčanih i plućnih bolesnika. Robinson je, 1938, pokazao da maksimalna potrošnja kisika progresivno opada nakon tridesete godine života. On je kao opterećenje upotrebio trčanje na pokretnom sagu. Astrand (1952) je, u svojoj monografiji o utjecaju starosti i spola na tjelesnu sposobnost, kao glavnu upotrebio metodu određivanja maksimalne potrošnje kisika za vrijeme trčanja na pokretnom sagu. On je utvrdio da maksimalna potrošnja kisika progresivno raste od 5 do 20 godina i da je kod ženskih ispitanika manja. Robinson (1938) i Astrand (1952) su maksimalnu potrošnju kisika mjerili kod takvog intenziteta trčanja, koje je iscrpljivalo ispitanike nakon 5 do 6 minuta, a uzorak zraka uziman je između 4 i 5 minute trčanja. Taylor i suradnici (1955) kritizirali su tu metodu, jer po njihovom mišljenju, oni nisu imali dovoljno određen kriterij da li je mjerena potrošnja kisika bila zaista maksimalna. Zbog toga su spomenuti autori razradili metodu tako da su mjerenje potrošnje vršili u više eksperimenata, povećavajući nagib saga ili brzinu dotle dok se povećavala potrošnja kisika. Kao kriterij da je postignuta maksimalna potrošnja uzeli su činjenicu, da se kod većeg opterećenja potrošnja kisika nije povećala više nego što je trostruka standardna pogreška jednog mjerenja.

Metodika testa maksimalne potrošnje kisika

Princip metode je da se određuje potrošnja kisika kod sve većeg tjelesnog rada, dok se ne postigne plafon potrošnje, tj. dotle dok se daljim povećanjem rada potrošnja kisika ne može više povećati.

Testiranje je vršeno u prostoriji gdje je temperatura bila 20 do 23°C. Tjelesni rad se sastojao u trčanju na pokretnom sagu. Sag je u principu gumena traka čiji su krajevi spojeni oko dva valjka, koje pokreće električni motor. Ispitanik stane na sredinu saga i motor se stavi u pogon. Sag se počinje kretati prema natrag i ispitanik, da bi zadržao mjesto, mora se kretati prema naprijed. Što je veća brzina kretanja saga to se ispitanik mora brže kretati prema naprijed. Brzina saga se regulira pomoću varijatora i time se regulira i brzina kretanja ispitanika. Kod male brzine ispitanik može hodati, a kod veće mora trčati, da bi ostao na istom mjestu na sagu. Kako je kod ovih ispitivanja trebalo da ispitanik vrši što teži rad, brzina je bila tako regulirana da je ispitanik morao trčati. Brzina saga kontrolirana je brzinomjerom, koji je prije toga baždaren prema brzini pokretanja trake. Budući da se većina podataka iz literature odnosi na brzinu u miljama, i mi smo brzinomjer baždarili u miljama. Sag se kretao najmanjom brzinom, koja još primorava ispitanike da trče, t. j. 7 milja na sat ili 11,26 km/sat. Kod većih brzina vještina trčanja bila bi jedan od faktora koji bi djelovao na izdržljivost.

Intenzitet rada povećavan je povećavanjem nagiba saga, na kojem su ispitanici trčali. Prednji kraj saga može se posebnim uređajem dizati i time se regulira nagib uz koji ispitanici trče. Nagib se može regulirati od 0 do 16°. Veličina nagiba očitava se na skali,, koja se nalazi sa strane saga.

Za vrijeme trčanja ispitanici su disali na usni respirator od pleksi-stakla po Mülleru. Unutrašnji promjer dijela koji dolazi u usta bio je 19 mm. Atmosferski zrak je ulazio kroz otvor promjera 21 mm, a ekspirirani zrak je izlazio kroz isti takav otvor na koji se nastavljala rebrasta gumena cijev promjera 25 mm. Ekspirirani zrak je kroz rebrastu cijev dolazio do dva trosmjerna pipca na kojima se nalaze Douglasove vreće. Okretanjem pipca ekspirirani zrak se može usmjeriti u okolinu ili u Douglasovu vreću. Ako se

napuni jedna Douglasova vreća može se okretanjem drugog pipca zrak usmjeriti u drugu Douglasovu vreću. Kapacitet vreće je 180 l (Sl. 1).

Ispitivanje je trajalo više dana. Prvi dan ispitanik se priučavao na eksperimentalni postupak. Nakon što mu je objašnjena i demonstrirana tehnika kretanja na pokretnom sagu, ispitanik je stao na pokretni sag i motor je stavljen u pogon. Ispitanik je izvjesno vrijeme hodao, dok nije stekao sigurnost, a zatim je brzina kretanja saga postepeno povećavana i ispitanik je morao lagano trčati. Kad se privikao i na trčanje, sag je zaustavljen. Ispitanik se izvjesno vrijeme odmarao, a zatim mu je objašnjeno kako će disati kroz respirator. Nos je začepljen vatom i preko nosnih otvora stavljen je dosta široki komad flastera. Respirator je stavljen u usta, tako da je gumeno proširenje došlo između usnice i zubi, te je ispitanik mogao disati samo kroz otvor na respiratoru.

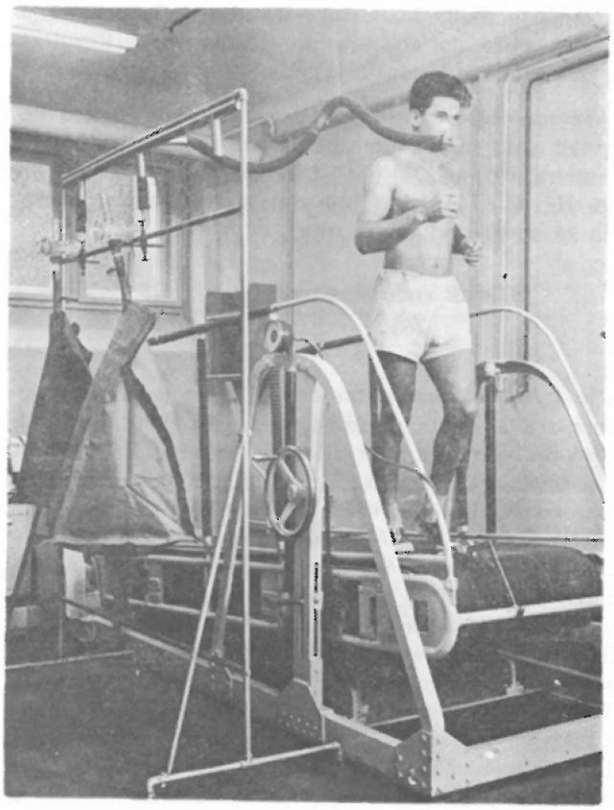
Kod udisanja otvarao se ulazni ventil, te je ispitanik udisao atmosferski zrak. Kod izdisanja ulazni se ventil zatvarao, a izlazni ventil otvarao. Ekspirirani zrak je kroz rebrasto crijevo prolazio do trosmjernog pipca. Kada se ispitanik privikao na disanje kroz respirator, stavljen je opet u pogon sag i ispitanik je trčao sa respiratorom, a kada se potpuno privikao na eksperimentalni postupak sag je zaustavljen.

Nakon 2 do 3 dana izvršeno je prvo mjerenje potrošnje kisika kod trčanja. Netrenirani ispitanici trčali su 5 minuta brzinom od 7 milja na sat uz nagib od 3 stupnja, a između četvrte i pete minute (kada se kardiovaskularni sistem adaptirao na dano opterećećenje) skupljen je ekspirirani zrak za određivanje potrošnje kisika. Taj napor mogli su izdržati svi ispitanici, ali su neki već postigli maksimalnu potrošnju kisika, što smo utvrdili daljnjim ispitivanjem. Slijedeće ispitivanje izvršeno je nakon par dana s većim opterećenjem.

Ispitanici su trčali istom brzinom uz nagib od 4 stupnja. Ukoliko je ispitanik nakon 3 minute pokazivao znakove iscrpljenosti, ekspirirani zrak je skupljen već između treće i četvrte minute u jednu, a ukoliko je mogao dalje trčati, i između četvrte i pete minute u drugu Douglasovu vreću. Nastojali smo svakako da ispitanik izdrži barem 4 minute trčanja, a ukoliko nakon četvrte nije mogao više normalno trčati, nego je posrtao i zaostajao, onda smo sag zaustavili i odredili potrošnju kisika između treće i četvrte minute. Ako je ispitanik izdržao 5 minuta, onda je nakon par dana ponovo trčao uz nagib od 5 stupnjeva. Ispitanici, koji su krajnjim naporom izdržali 5 minuta kod nagiba od 4 stupnja, obično nisu mogli trčati kod nagiba od 5 stupnjeva više od 3 minute. Kod ispitanika, koji su mogli trčati više od 3 minute, ekspirirani zrak je skupljan između treće i četvrte, a ako je trčao i dalje, i između četvrte i pete minute. Neki ispitanici, koji su lako izdržali napor uz 5 stupnjeva trčali su i uz 6, ali se potrošnja kisika nije mogla povećati.

Trenirani ispitanici. nakon uvježabavanja, trčali su istom brzinom kao i netrenirani, ali uz nagib od 5 stupnjeva. U toku daljnjeg ispitivanja povećan je nagib i određivana potrošnja kisika kao i kod netreniranih. Plivači su obično još mogli izdržati 5 minuta uz nagib od 6 do 7 stupnjeva, a trkači uz nagib od 8 do 9 stupnjeva. Kod nekih vrhunskih trkača, koji su već prije trčali na pokretnom sagu upotrebili smo već kod prvog ispitivanja, radi uštede vremena, nagib od 8 stupnjeva. Samo mjerenje potrošnje kisika vršeno je na slijedeći način: ispitanik je u gimnastičkoj opremi stao na pokretni sag, u usta je stavio respirator, a nos mu je na opisani način zatvoren. Kada je sve bilo spremno, stavljen je u pogon motor i ispitanik je počeo trčati (Sl. 1). Ekspirirani zrak je kroz rebrastu cijev i uređaj za razdvajanje dolazio do trosmjernog pipca i kroz njega izlazio u okolinu. Točno na početku četvrte, ili u opisanim slučajevima, treće minute pipac je okrenut prema vreći i počelo je sakupljanje ekspiriranog zraka. Zrak je skupljan točno 1 minutu, a zatim je pipac okrenut prema van i sag zaustavljen. Ispitanik je skinuo respirator i sjeo na pripremljenu stolicu. Vreća je skinuta sa pipca i u otvor je stavljena prelazna cijev.

Volumen ekspiriranog zraka izmjeren je preciznom



Slika 1. — Određivanje potrošnje kisika za vrijeme trčanja na pokretnom sagu.

plinskom urom (Precision wet test meter). Prije mjerenja ekspirirani zrak je dobro promješan laganim gnječenjem i okretanjem vreće. Preko prelazne cijevi vreća je spojena s plinskom urom. Na izlaznom kraju ure nalazila se električna sisaljka. Kada je skinuta

štipaljka sa prelazne cijevi i stavljena u pogon sisaljka, zrak je iz vreće prolazio kroz uru, koja je registrirala količinu zraka. Pomoću manometra na plinskoj uri mogli smo kontrolirati tlak, pod kojim je zrak izlazio iz vreće i koji, dok je u vreći bilo zraka, nije prelazio 10 mm vode. Prednost ovakvog načina mjerenja sastoji se u tome, da sav zrak iz vreće izlazi pod jednakim i poznatim tlakom, čime se osigurava maksimalna točnost mjerenja. Kako je poznato, količina zraka iz Douglasove vreće mjeri se inače manuelnim istiskivanjem kroz plinsku uru, pri čemu se ne kontroliraju promjene u tlaku. Kad je sav zrak iz vreće izašao, manometar je počeo rasti i, čim je prešao 10 mm vode, sisaljka je isključena i očitana je na uri količina izmjerenog zraka. Na uri se nalazi i termometar koji pokazuje temperaturu mjerenog zraka, koja se na kraju mjerenja očita i zabilježi radi kasnije korekcije na standardne uvjete.

Na početku mjerenja, kada je kroz uru prošlo 10 do 15 litara zraka, uzeli smo iz sporednog otvora na Douglasovoj vreći uzorak za analizu. Staklenu štrcaljku, iznutra dobro namazanu parafinskim uljem, spojili smo s Douglasovom vrećom i izvukli 10 ccm zraka. Tim zrakom smo štrcaljku isplahnuli i uzeli novi uzorak za analizu. Analiza koncentracije kisika i ugljičnog dioksida u ekspiriranom zraku vršena je po dva puta na aparatu po Scholanderu. Rezultati su izračunati iz srednjih vrijednosti dvaju analiza.

Volumen ekspiriranog zraka, koji smo izmjerili korigirali smo na standardne uvjete, t.j. na apsolutnu temperaturu od 273° (0°C) i barometarski tlak od 760 mm Hg od kojeg se odbije tlak vodenih para. Korekcija se sastoji od ovog izraza

$$\frac{\text{BT-tlak vodenih para}}{760} \times \frac{273}{273+t}$$

gdje je BT barometarski tlak, a t temperatura mjerenog zraka. Za danu temperaturu i barometarski tlak korekcija se ne mora izračunati, nego se može očitati iz gotovih tablica. Tako, na pr., kod barometarskog tlaka od 750 mm Hg i temperature zraka od 20°C korekcija je 0,899. Tim brojem se pomnoži izmjereni volumen ekspiriranog zraka i dobije se korigirani volumen ekspiriranog zraka i poznatog sastava inspiriranog zraka. Inspirirani zrak sastoji se od 29,94% kisika, 0,03% ugljičnog dioksida i 79,04% dušika. Sastav jednog uzorka bio je na pr. 16,90% kisika, 3,50% ugljičnog dioksida i 79,60% dušika. Postotak absorbiranog kisika nije jednostavna razlika između postotka kisika u inspiriranom i ekspiriranom zraku. Kako se iz gornjih podataka vidi, postotak dušika je veći u ekspiriranom nego u inspiriranom zraku. Što se tiče respiracije dušik je inertan, jer se niti stvara niti zadržava u tijelu i, prema tome, njegova apsolutna količina se ne mijenja. Prema tome, veća proporcija dušika u ekspiriranom zraku može samo značiti, da je volumen inspiriranog zraka (koji nije mjeren) morao biti veći od ekspiriranog zraka. Isto tako, volumen inspiriranog kisika mora da je bio također veći. Uzrok ovog neslaganja je taj, da se dio absorbiranog kisika vezao s vodikom i na druge načine, i nije se pojavio kao CO_2. Veća količina kisika u inspiriranom zraku proporcionalna je povećanoj količini dušika u ekspiriranom zraku. Mjesto da je inspirirani zrak sadržavao 20,93 volumena kisika za svakih 100 ccm ekspiriranog zraka, on je morao sadržavati

$$20{,}93 \times \frac{76{,}60}{79{,}04} \text{ ili } 0{,}265 \text{ (konstanta)} \times 76{,}60 = 21{,}09$$

volumena kisika. Prema tome, količina »prvog kisika«, koji je absorbiran, iznosi 21,09—16,90 = 4,19% kisika.

Ako je količina ekspiriranog zraka korigirana za tlak i temperaturu bila 80 litara, onda je potrošnja kisika u minuti iznosila:

$$\frac{4{,}19 \times 80}{100} = 3{,}352 \text{ lit. kisika}$$

Nakon što smo odredili potrošnju kisika kod raznih opterećenja sve do najvećega, koje je ispitanik mogao izdržati barem 4 minute, uzeli smo najveću potrošnju kao maksimalnu. Maksimalna potrošnja najčešće je postignuta kod onog opterećenja, koje je ispitanik još relativno lagano mogao izdržati 5 minuta. Ako je ispitanik kod najvećeg opterećenja pokazivao očite znakove iscrpljenja, onda je potrošnja kisika bila ista ili čak manja nego kod prethodnog. To nam je dokaz, da je ispitanik zaista dostigao plafon potrošnje i da je mehanizam transporta kisika počeo zakazivati, jer se potrosnja kisika, unatoč većoj potrebi, nije mogla povećavati.

Većina netreniranih ispitanika postigla je maksimalnu potrošnju kisika između četvrte i pete minute trčanja na 4 stupnja. Ispitanici, koji su pokazivali očite znakove iscrpljenosti kod 5 stupnjeva, nisu mogli povećati potrošnju kisika, dok su oni, koji su mogli lagano svladati i taj napor, povećali i potrošnju. Ispitanicima, koji nisu mogli izdržati propisanih 5 minuta, mjerena je potrošnja kisika između treće i četvrte minute. To mjerenje služilo je kao kontrola, da je kod manjeg opterećenja zaista postignuta maksimalna potrošnja.

Svi trenirani ispitanici izdržali su trčanje uz nagib od 5 stupnjeva, a maksimalnu potrošnju kisika postigli su kod 7 do 9 stupnjeva.

Step test

Brouha i suradnici (1943) modificirali su test na pokretnom sagu, koji su konstruirali Johnson i Brouha (1942) tako, da su mjesto trčanja na sagu kao opterećenje upotrebili penjanje na klupicu visine 20 incha (50,8 cm), tempom od 30 penjanja u minuti. Trajanje uspinjanja je kao kod originalnog testa 5 minuta ili manje ako ispitanik ne može više izdržati.

Nakon rada mjeri se u oporavku frekvencija pulsa, te se na osnovu njega i trajanja testa izračunava indeks. Prije Brouhe i drugi su autori kao opterećenje upotrebljavali penjanje na klupicu, ali je trajanje bilo puno kraće (Schneider, 1920 i Master, 1929), klupica niža i broj penjanja manji. Brouhin test, koji je poznat pod imenom Harvardski step test, jer je izrađen u laboratoriju za ispitivanje umora na Harvardskom sveučilištu, mnogo se upotrebljavao za vrijeme drugog svjetskog rata za selekciju vojnika, a kasnije za selekciju i kontrolu sportaša. Postoje i mnoge modifikacije Harvardskog step testa, koje se sastoje u tome, da su se ili visina uspinjanja ili tempo smanjili (Karpovich, 1953).

Metodika step testa

Test se sastoji u mjerenju reakcije frekvencije srca na standardni rad pri penjanju na klupicu određene visine, određenim tempom kroz određeno vrijeme. Budući da se radilo o zdravim, mladim ljudima upotrebili smo opterećenje, koje su preporučili Brouha i suradnici. Visina klupice bila je 50,8 cm, tempo penjanja 30 na minutu, a trajanje 5 minuta. Prije pokusa objasnili smo ispitanicima tehniku rada. Ispitanik se penjao po ritmu metronoma. Na prvi udarac stavio je desnu nogu na klupicu, na drugi se popeo i stavio lijevu nogu do desne. Na treći, spustio je desnu nogu na pod, a na četvrti lijevu nogu. Metronom je udarao 120 puta u minuti i prema tome ispitanik je izvršio 30 penjanja i spuštanja. Pazili smo da se ispitanik potpuno uspinje, tj. kada je na klupici, da koljena i trup budu ispruženi. Kada ispitanik nije mogao sam pratiti ritam metronoma, onda je ispitivač brojio razdjele i poticao ispitanika da radi pravilno. Rad je trajao 5 minuta i prema tome ispitanik je izvršio 150 penjanja i spuštanja. Nakon rada ispitanik je sjeo na pripravljenu stolicu. Frekvencija srca za vrijeme rada i u oporavku registrirana je pomoću elektrokardiografa. Elektrode su bile pričvršćene ljepivom trakom na prednju stranu grudi u blizini srčanog vrška i na leđima ispod lopatice.

Kod Harvardskog step testa broj bodova se izračunava na osnovu trajanja testa i frekvencije pulsa u oporavku. Puls se broji palpacijom arterije radijalis po pola minute, minutu nakon prestanka rada, 2 minute nakon prestanka i 3 minute nakon prestanka. Suma od tri mjerenja po pola minute pomnoži se sa dva i tim brojem podijeli se vrijeme u sekundama koliko je ispitanik izdržao test, pomnoženo sa 100. Formula glasi:

$$\frac{\text{sek} \times 100}{2\,(p_1 + P_2 + p_3)}$$

Da bi usporedili dvije metode mjerili smo frekvenciju srca i palpacijom po opisanoj metodi.

Kod ovih ispitivanja svi su ispitanici izdržali propisano vrijeme od 5 minuta i prema tome taj faktor je bio konstantan. Frekvencija srca registrirana je kontinuirano i zato je kao rezultat testa uzeta suma frekvencija počevši od prve minute nakon prestanka rada do četvrte minute. Drugim riječima frekvencija srca neposredno nakon rada pa do prve minute nije uzeta nego frekvencija od prve do druge, od druge do treće i od treće do četvrte minute. Kako su Johnson i Brouha ustanovili, krivulja pada frekvencije srca u oporavku približuje se asimptotski vrijednostima u mirovanju i može se konstruirati iz karakterističnih vrijednosti, koje nalazimo baš između prve i četvrte minute oporavka. Kod osoba s boljom funkcionalnom sposobnošću frekvencija srca se brže vraća na normalu, pa će frekvencija između prve i četvrte minute biti niža. Kod osoba s lošijom funkcionalnom sposobnošću frekvencija srca se sporije vraća na normalu, pa će i vrijednosti između prve i četvrte minute biti više.

Schneiderov test

Na osnovu iskustva stečenog za vrijeme prvog svjetskog rata pregledom velikih skupina vojnika, naročito avijatičara, Schneider je objavio, 1920, test koji se mnogo upotrebljavao i koji je služio kao uzor za razne modifikacije, koje su se kasnije pojavile. Dvije godine kasnije autor je publicirao radnju u kojoj je statistički obradio elemente svog testa na skupini od 2.000 avijatičara i usporedio s rezultatima od 200 osoba klinički selekcioniranih kao naročito sposobnih. Statistička obrada sastojala se u određivanju srednje vrijednosti i distribucije, te računanju korelacije između pojedinih elemenata testa. Iako su razlike između neselekcionirane skupine i selekcionirane sigurno značajne zbog velikog broja slučajeva, značajnost nije testirana.

Metodika Schneiderovog testa

Schneiderov test primjenjen je točno po uputama koje je dao autor. Ispitanik je ležao 10 minuta, a zatim mu je palpacijom arterije radialis mjerena frekvencija pulsa u intervalima od 20 sekundi, dok se nije dobio isti broj u dva uzastopna mjerenja. Taj broj je pomnožen s tri i dobiveni rezultat uzet je kao frekvencija srca u ležanju. Iza toga stavljena je na nadlakticu manžeta tlakomjera po Riva Rocci-u i izmjeren je auskultatornom metodom sistolički tlak. Rezultat se dva do tri puta kontrolirao, a zatim zabilježio. Nakon mjerenja tlaka ispitanik je ustao i mirno stajao 2 minute. Tada se palpacijom mjerio puls u intervalima po 15 sekundi, dok rezultat u dva uzastopna mjerenja nije bio isti. Taj broj se pomnožio sa četiri, a dobiveni rezultat zabilježio kao frekvencija srca pri stajanju. Frekvencija srca u ležanju odbijena je od frekvencije pri stajanju i razlika zabilježena. Nakon toga izmjeren je sistolički tlak pri stajanju, odbijen od tlaka u ležanju i razlika zabilježena.

Nakon što su izmjerene vrijednosti u mirovanju ispitaniku smo objasnili kako da se penje na klupicu visine 47 cm. Ispitanik je stavio desnu nogu na klupicu, te se dizao i spuštao 5 puta u 15 sekundi po uputi ispitivača, koji je gledao na sat. Čim je ispitanik završio vježbu mjerena je frekvencija pulsa u prvih 15 sekundi, rezultat je zabilježen i brojenje je nastavljeno u intervalima po 15 sekundi, dok se nije vratila vrijednost kao kod stajanja prije vježbe. Broj pulzacije u prvih 15 sekundi nakon rada pomnožen je sa 4, odbijen od frekvencije u stajanju i razlika zabilježena. Isto tako zabilježen je i broj sekundi, koji je bio potreban da se puls nakon rada vrati na normalu. Kada su dobiveni svi podaci rezultati su bodovani na osnovu tablice koju je izradio autor testa.

Kako se vidi iz priloženih tablica boduje se: A. frekvencija pulsa pri ležanju, B. povećanje pulsa kod promjene položaja, C. Frekvencija pulsa pri stajanju, D. Povećanje pulsa nakon vježbe, E. Povratak pulsa nakon vježbe na normalu. F. Razlika sistoličkog tlaka pri stajanju i ležanju. Broj bodova kod povećanja pulsa kod promjene položaja ovisi također i o veličini pulsa pri ležanju, a broj bodova kod povećanja pulsa nakon vježbe ovisi također o pulsu pri stajanju.

Kako se vidi, broj bodova za svaku veličinu može biti od —3 do 3. Ukupni broj bodova može biti najviše 18.

TABLICE ZA SCHNEIDER-ov TEST

A) Puls pri ležanju

Frekvencija	Bodovi
50— 60	3
61— 70	3
71— 80	2
81— 90	1
91—100	0
101—110	—1

B) Poveć. pulsa kod promj. polo.

0—10 Bodovi	11—18 Bodovi	19—26 Bodovi	27—34 Bodovi	35—42 Bodovi
3	3	2	1	0
3	2	1	0	—1
3	2	0	—1	—2
2	1	—1	—2	—3
1	0	—2	—3	—3
0	—1	—3	—3	—3

C) Puls pri stajanju

Frekvencija	Bodovi
60— 70	3
71— 80	3
81— 90	2
91—100	1
101—110	1
111—120	0
121—130	0
131—140	—1

D) Povećanje pulsa nakon vježbe

0—10 Bodovi	11—20 Bodovi	21—30 Bodovi	31—40 Bodovi	41—50 Bodovi
3	3	2	1	0
3	2	1	0	0
3	2	1	0	—1
2	1	0	—1	—2
1	0	—1	—2	—3
1	—1	—2	—3	—3
0	—2	—3	—3	—3
0	—3	—3	—3	—3

E) Povratak pulsa nakon vježbe na norm.

Sekunde	Bodovi
0— 60	3
61— 90	2
91—120	1
Poslije 120 sek.:	
2—10 udara iznad normale	0
11—30 udara iznad normale	—1

F) Maksimalni tlak-razlika između stajanja i ležanja

Promjene u mm Hg.	Bodovi
Povećanje od 8 ili više	3
Povećanje od 2—7	2
Bez povećanja	1
Pad 2 do 5	0
Pad od 6 ili više	—1

Barachov test

Test je publiciran još 1914 godine i spada među prve pokušaje da se kombinacijom krvnog tlaka i frekvencije pulsa odredi kardiovaskularna sposobnost. Radi svoje jednostavnosti mnogo je upotrebljavan naročito za testiranje američkih sportaša (Cureton, 1951).

Metodika Barachovog testa

Metodika je vrlo jednostavna i sastoji se u mjerenju sistoličkog i dijastoličkog tlaka te frekvencije pulsa za vrijeme stajanja.

Ispitanik je nakon dolaska u laboratorij ležao 10 minuta. Nakon toga je ustao i stajao mirno 2 minute, a zatim mu je palpacijom arterije radijalis mjerena frekvencija pulsa u intervalima po 15 sekundi, dok se u dva uzastopna mjerenja nije dobio isti broj. Taj broj je pomnožen sa 4 i dobiveni rezultat je uzet kao frekvencija srca pri stajanju. Iza toga je auskultatornom metodom, tlakomjerom po Riva Rocciu dva do tri puta određen sistolički i dijastolički tlak. Srednja vrijednost uzeta je kao sistolički, odnosno dijastolički tlak pri stajanju.

Barachov indeks izračunan je po formuli:

$$\frac{(\text{sistolički tlak} + \text{dijastolički tlak}) \times \text{frekvencija pulsa}}{100}$$

3.3. *Statističke metode i metode određivanja metrijskih karakteristika*

Za rezultate svakog testa određene su aritmetička sredina i standardna devijacija, te standardna pogreška aritmetičke sredine. Također su testirane razlike između netreniranih i treniranih ispitanika, t-testom. Normalitet dobivenih distribucija testiran je χ^2 testom.

Baždarenje testova izvršeno je pomoću dvije metode, određivanjem z — vrijednosti i metodom decila.

Pouzdanost testova određena je tako da je isti test u razmaku od 3 do 5 dana primjenjen dva puta kod istih ispitanika. Između rezultata prvog i drugog mjerenja izračunat je koeficijent korelacije. Izračunani koeficijent predstavlja koeficijent pouzdanosti testa.

Valjanost testa određivana je prema kriteriju da li su ispitanici bili trenirani ili netrenirani. Kako je kriterij izmjeren samo u dvije kategorije, korelacija između treniranosti i rezultata testa izračunata je pomoću biserijalnog koeficijenta korelacije.

Osjetljivost testa određivana je prema tome, kakva je bila distribucija rezultata pojedinog testa i kolika je bila standardna devijacija u odnosu na pogrešku jednog rezultata. Osim toga uzet je u obzir i relativni varijabilitet rezultata izražen koeficijentom relativnog varijabiliteta.

4. REZULTATI

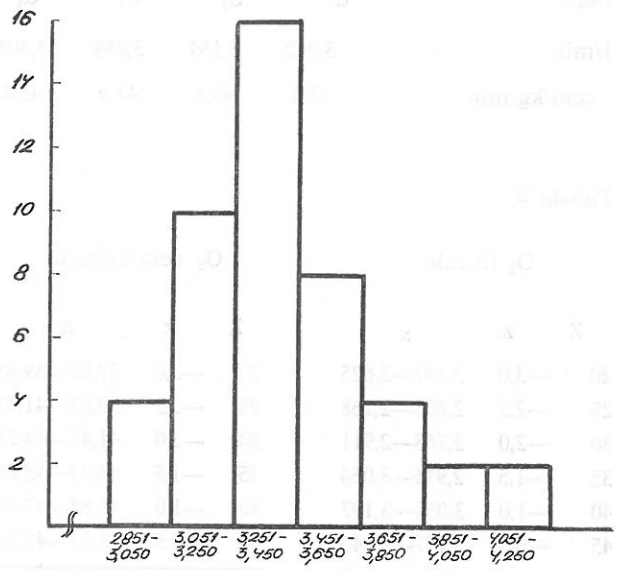
4.1. *Test maksimalne potrošnje kisika*

Rezultati su prikazani u tabeli 2. Kako se vidi, aritmetička sredina maksimalne potrošnje kisika kod netreniranih ispitanika izražena u litrama na minutu bila je 3,412, a standardna devijacija 0,286. Raspon rezultata bio je od 2,9777 do 4,140. Aritmetička sredina rezultata izražena kao maksimalna potrošnja kisika u kubnim centimetrima po kilogramu težine bila je 50,56, a standardna devijacija 3,91. Raspon rezultata bio je od 43 do 60.

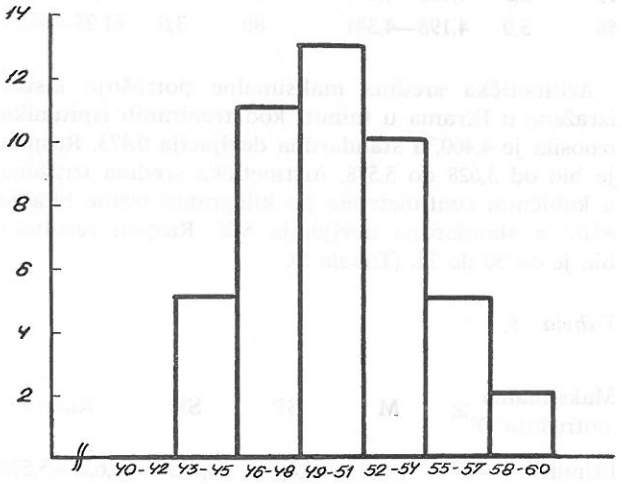
Tabela 2.

Maksimalna potrošnja O_2	N	M	SP	SD	Raspon
lit/min	46	3,412	0,042	0,286	2,977—4,140
ccm/ kg/min.	46	50,56	0,57	3,91	43—60

Distribucija rezultata izraženih u litrama u minuti prikazana je na slici 2. Kako se vidi, ona je dosta pravilna. Normalitet je testiran χ^2 testom, koji je bio 2,47, što za dani broj stupnjeva slobode (1) dopušta, da prihvatimo hipotezu, da se dobivena distribucija značajno ne razlikuje od normalne, teoretske distribucije. Distribucija rezultata izraženih u kubičnim centimetrima na kilogram težine prikazana je na slici 3. Kako vidimo ona je još pravilnija. Normalitet je testiran χ^2 testom, koji je iznosio 1,32, što za dani broj stupnjeva slobode (1) također dopušta hipotezu da se dobivena distribucija značajno ne razlikuje od normalne teoretske.



Slika 2. — Distribucija rezultata testa maksimalne potrošnje kisika izraženih u lit/min, kod netreniranih ispitanika.



Slika 3. — Distribucija rezultata testa maksimalne potrošnje kisika izraženih u ccm/kg/min, kod netreniranih ispitanika.

Test je baždaren metodom decila, a kako je distribucija pravilna, baždarili smo ga i metodom smanjenih razlika. Skale za određivanje vrijednosti dobivenih rezultata dane su u tabeli 3 i 4.

Tabela 3.

Decil	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
l/min	3,062	3,154	3,248	3,305	3,363	3,420	3,505	3,620	3,820	> 3,820
ccm/kg/min	45,4	46,6	47,9	49,0	50,1	51,1	52,4	53,8	55,9	> 55,9

Tabela 4.

O_2 lit/min.			O_2 ccm/kg/min.		
Z	z	x	Z	z	x
20	—3,0	2,482—2,625	20	—3,0	37,88—39,83
25	—2,5	2,625—2,768	25	—2,5	39,83—41,47
30	—2,0	2,768—2,911	30	—2,0	41,47—43,73
35	—1,5	2,911—3,054	35	—1,5	43,73—45,68
40	—1,0	3,054—3,197	40	—1,0	45,68—47,63
45	—0,5	3,197—3,340	45	—0,5	47,63—49,58
50	0	3,340—3,483	50	0	49,58—51,53
55	0,5	3,483—3,626	55	0,5	51,53—53,48
60	1,0	3,626—3,769	60	1,0	53,48—55,43
65	1,5	3,769—3,912	65	1,5	55,43—57,38
70	2,0	3,912—4,055	70	2,0	57,38—59,33
75	2,5	4,055—4,198	75	2,5	59,33—61,28
80	3,0	4,198—4,341	80	3,0	61,28—63,21

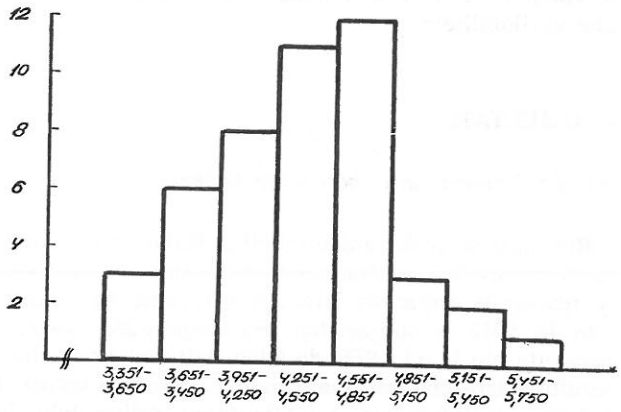
Aritmetička sredina maksimalne potrošnje kisika izražene u litrama u minuti kod treniranih ispitanika iznosila je 4,400, a standardna devijacija 0,473. Raspon je bio od 3,628 do 5,578. Aritmetička sredina izražena u kubičnim centimetrima po kilogramu težine bila je 60,67, a standardna devijacija 6,08. Raspon rezultata bio je od 50 do 74. (Tabela 5).

Tabela 5.

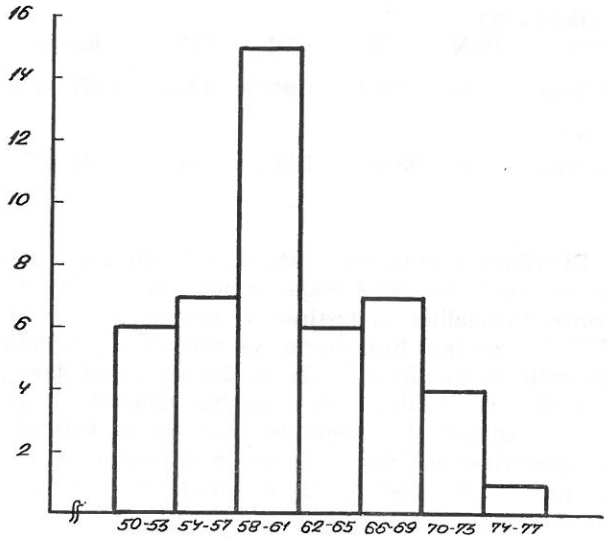
Maksimalna potrošnja O^2	N	M	SP	SD	Raspon
lit/min	46	4,400	0,069	0,473	3,628—5,578
ccm/ kg/min	46	60,67	0,90	6,08	50—74

Distribucija rezultata treniranih ispitanika izražena u litrama u minuti prikazana je na slici 4. Ona nije tako pravilna kao kod netreniranih, ali je χ^2, kojim smo testirali normalitet, bio samo 1,71, što uz dani broj stupnjeva slobode (2) dopušta da prihvatimo hipotezu, da se distribucija značajno ne razlikuje od teoretske. Distribucija rezultata izraženih u kubičnim centimetrima na kilogram u minuti također je manje pravilna od distribucije netreniranih (slika 5), ali je χ^2 kojim smo testirali normalitet bio 3,43, što za dani broj stupnjeva slobode (1) još uvijek dopušta da prihvatimo hipotezu, da se i ta distribucija značajno ne razlikuje od normalne.

Kako trenirani predstavljaju drugačiju populaciju od netreniranih ispitanika, izrađene su za njih posebne tabele za određivanje vrijednosti rezultata. U tabeli 6 dane su vrijednosti dobivene metodom decila, a u tabeli 7. vrijednosti dobivene metodom smanjenih razlika.



Slika 4. — Distribucija rezultata testa maksimalne potrošnje kisika izraženih u lit/min, kod treniranih ispitanika.



Slika 5. — Distribucija rezultata testa maksimalne potrošnje kisika izraženih u ccm/kg/min, kod treniranih ispitanika.

Tabela 6.

Decil	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
l/min	3,730	3,969	4,130	4,288	4,414	4,540	4,655	4,770	4,990	> 4,990
ccm/kg/min	51,5	55,3	57,7	58,9	60,1	61,3	64,3	67,1	69,9	> 69,9

Tabela 7.

O_2 lit/min			O_2 ccm/kg/min		
Z	z	x	Z	z	x
20	—3,0	2,866—3,102	20	—3,0	40,91—43,95
25	—2,5	3,102—3,338	25	—2,5	43,95—46,99
30	—2,0	3,338—3,574	30	—2,0	46,99—50,03
35	—1,5	3,574—3,810	35	—1,5	50,03—53,07
40	—1,0	3,810—4,046	40	—1,0	53,07—56,11
45	—0,5	4,046—4,282	45	—0,5	56,11—59,15
50	0	4,282—4,518	50	0	59,15—62,19
55	0,5	4,518—4,754	55	0,5	62,19—65,23
60	1,0	4,754—4,990	60	1,0	65,23—68,27
65	1,5	4,990—5,226	65	1,5	68,27—71,31
70	2,0	5,226—5,462	70	2,0	71,31—74,35
75	2,5	5,462—5,698	75	2,5	74,35—77,39
80	3,0	5,698—5,934	80	3,0	77,39—80,43

U tabeli 8. uspoređeni su rezultati netreniranih i treniranih ispitanika, tj. vojnika i sportaša. Kako se vidi, razlike su značajne na razini manjoj od 0,1%, kako kod rezultata izraženih u litrama u minuti, tako i kod rezultata izraženih u kubičnim centimetrima na kilogram u minuti.

Tabela 8.

Oznaka grupe	N	Maksimalna potrošnja 0_2	
		lit/min.	ccm/kg/min
Netrenirani	46	3,412±0,042	50,56±0,57
Trenirani	46	4,400±0,069	60,67±0,90
Razlika		0,988	10,11
SP_r		0,080	1,06
t		12,35	9,53
P		<0,001	<0,001

Kada smo trenirane podijelili na plivače i trkače, razlike su prema netreniranima također visoko značajne (Tabela 9 i 10). Valjanost testa maksimalne potrošnje kisika za mjerenje kardiovaskularne sposobnosti smije se odrediti samo za rezultate izražene u ccm/kg/min, tj. kada se eliminira faktor tjelesne težine, koji također utječe na rezultate maksimalne potrošnje kisika izražene u litrama u minuti. Zbog plivača koji su bili iznad prosjeka teški a i visoki, trenirana grupa kao cjelina bila je također teža i viša od netrenirane.

Radi toga smo biserijalni koeficijent korelacije izračunali samo između statusa ispitanika i rezultata u ccm/kg/min. Tako određeni koeficijent valjanosti bio je 0,88. Prognostička efikasnost testa izračunana na osnovi koeficijenta valjanosti bila je 54%.

Tabela 9.

Oznaka grupe	N	Maksimalna potrošnja 0_2	
		lit/min.	ccm/kg/min
Vojnici	46	3,412±0,042	50,56±0,57
Plivači	23	4,673±0,088	56,30±0,70
Razlika		1,261	5,74
SP_r		0,097	0,90
t		13,00	6,37
P		<0,001	<0,001

Tabela 10.

Oznaka grupe	N	Maksimalna potrošnja 0_2	
		lit/min.	ccm/kg/min
Vojnici	46	3,412±0,042	50,56±0,57
Trkači	23	4,126±0,042	65,04±1,03
Razlika		0,714	14,48
SP_r		0,088	1,17
t		8,11	12,37
P		<0,001	<0,001

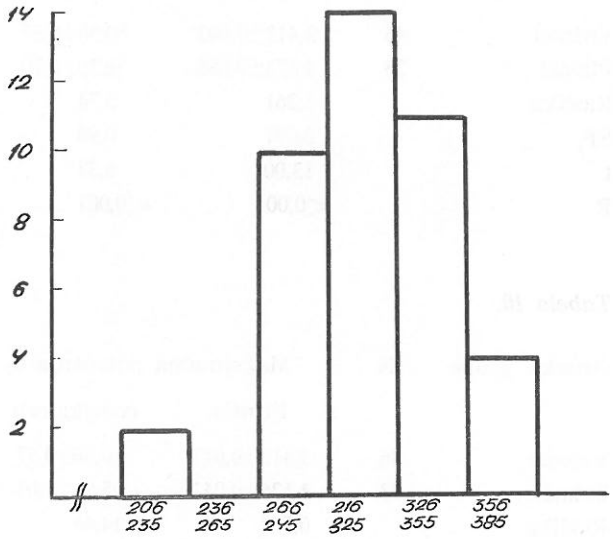
4.2. *Step test*

Rezultati prikazuju frekvenciju srca mjerenu tri minute u oporavku i prema tome manji broj pokazuje bolji rezultat. Kako se iz tabele 11. vidi, aritmetička sredina rezultata netreniranih ispitanika bila je 310,46, a standardna devijacija 35,66. Raspon rezultata je bio od 210 do 373. Aritmetička sredina treniranih ispitanika bila je 276,09, a standardna devijacija 38,45. Raspon rezultata je bio od 189 do 347.

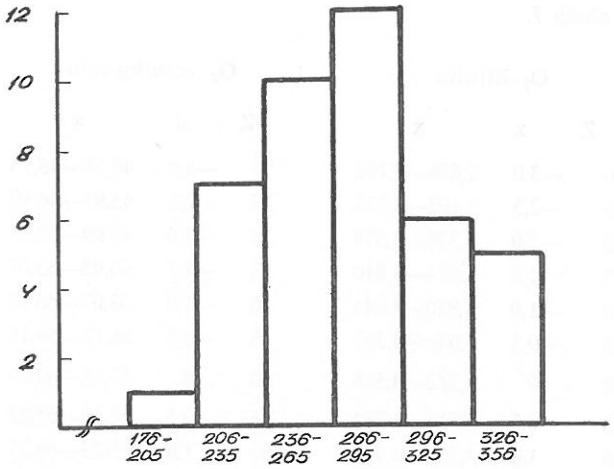
Tabela 11.

Ispitanici	N	Frekvencija srca u oporavku M	SP	SD	Raspon
Netrenirani	41	310,46	5,57	35,66	210—373
Trenirani	41	276,09	6,01	38,45	189—347

Distribucije rezultata prikazane su na slikama 6 i 7. Kako se vidi, distribucija rezultata vojnika je dosta pravilna obzirom na maleni broj rezultata. Normalitet je testiran χ^2 testom, koji je bio 0,55, što za dani broj stupnjeva slobode (1) dopušta da prihvatimo hipotezu, da se dobivena distribucija značajno ne razlikuje od normalne. Distribucija rezultata sportaša je negativno asimetrična što je logično, obzirom na to da oni kao grupa tendiraju prema nižem pulsu u oporavku. Ipak i ta distribucija testirana χ^2 testom značajno ne odstupa od normalne distribucije, jer je χ^2 bio 1,30, što za dani broj stupnjeva slobode (1) dopušta da prihvatimo hipotezu, da se dobivena distribucija značajno ne razlikuje od teoretske.



Slika 6. — Distribucija rezultata step testa kod netreniranih ispitanika.



Slika 7. — Distribucija rezultata step testa kod treniranih ispitanika.

Test smo baždarili metodom decila, a kako dobivene distribucije značajno ne odstupaju od normale, baždarili smo ga i metodom smanjenih razlika. Tablice za određivanje vrijednosti dobivenih rezultata dane su u tabeli 12 i 13. Kako kod ovog testa manji rezultat ima veću vrijednost, to se u prvom decilu nalaze najveći rezultati i u zadnjem najmanji. Isto tako manjim rezultatima odgovara veća Z vrijednost na skali smanjenih razlika.

Tabela 12.

Decil	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
Netrenirani	355,3	341,1	332,9	323,9	313,8	305,0	295,4	284,1	271,8	$<$ 271,8
Trenirani	330,9	309,5	291,0	282,0	271,8	260,7	248,4	236,3	218,8	$<$ 218,8

Tabela 13.

Netrenirani			Trenirani		
Z	z	x	Z	z	x
20	—3,0	408,5—426,4	20	—3,0	381,8—401,0
25	—2,5	390,7—408,5	25	—2,5	362,6—381,8
30	—2,0	372,9—390,7	30	—2,0	343,4—362,6
35	—1,5	355,0—372,9	35	—1,5	324,1—343,4
40	—1,0	337,2—355,0	40	—1,0	304,9—324,1
45	—0,5	319,4—337,2	45	—0,5	285,7—304,9
50	0	301,6—319,4	50	0	266,5—285,7
55	0,5	283,7—301,6	55	0,5	247,3—266,5
60	1,0	265,9—283,7	60	1,0	228,0—247,3
65	1,5	248,1—265,9	65	1,5	208,8—228,0
70	2,0	230,2—248,1	70	2,0	189,6—208,8
75	2,5	212,4—230,2	75	2,5	170,4—189,6
80	3,0	194,6—212,4	80	3,0	151,1—170,4

Koeficijent korelacije između rezultata dobivenih u dvije serije mjerenja izvršenih u razmaku od 2 do 3 dana kod 33 ispitanika bio je 0,84. Stadardna pogreška jednog rezultata je 15,44.

U tabeli 14. uspoređeni su rezultati netreniranih i treniranih ispitanika. Kako se vidi, razlike su značajne na razini od 0,1%. Biserijalni koeficijent korelacije između rezultata i statusa ispitanika bio je 0,53, pa je prema tome isto toliki koeficijent valjanosti step testa. Prognostička efikasnost testa izračunana na osnovu koeficijenta valjanosti iznosi 15%.

Tabela 14.

Oznaka grupe	N	Puls u oporavku
Netrenirani	41	310,46±5,57
Trenirani	41	276,09±6,01
Razlika		34,37
SP_r		8,18
P		0,001

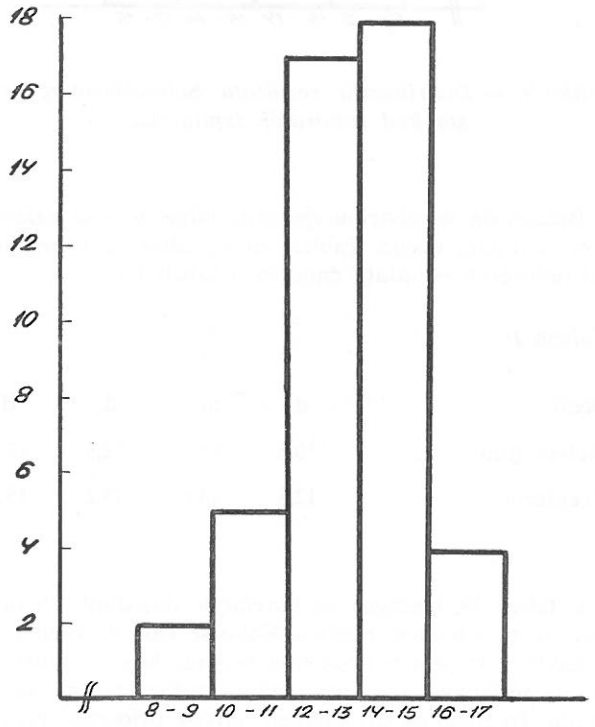
4.3. *Schneider-ov test*

Rezultati su izračunani u bodovima po tablici, koju je sastavio Schneider. U tabeli 15. vidimo da je aritmetička sredina rezultata netreniranih ispitanika bila 13,24, a standardna devijacija 1,89. Raspon rezultata bio je od 8 do 16. Aritmetička sredina rezultata treniranih ispitanika bila je 15,96, a standardna devijacija 1,89. Raspon rezultata bio je od 11 do 18.

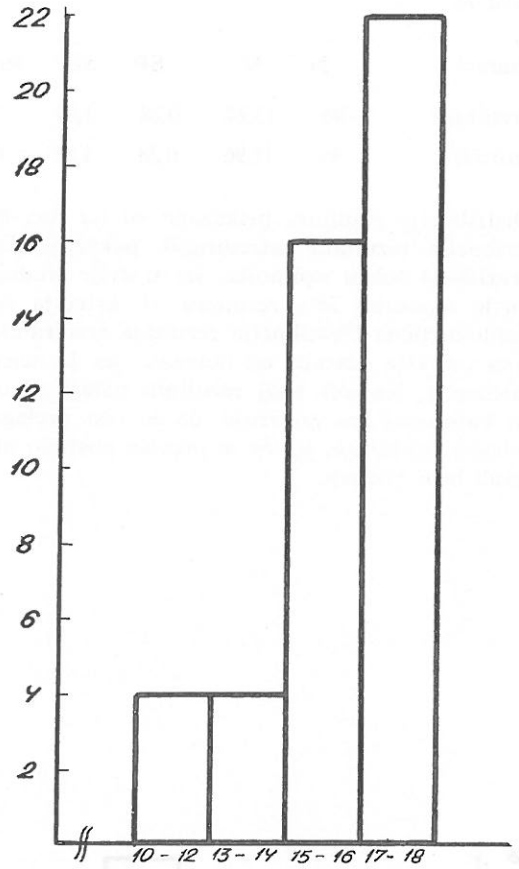
Tabela 15.

Ispitanici	N	M	SP	SD	Raspon
Netrenirani	46	13,24	0,28	1,89	8—16
Trenirani	46	15,96	0,28	1,89	11—18

Distribucije rezultata prikazane su na slici 8. i 9. Distribucija rezultata netreniranih pokazuje da test ne razlikuje dobro ispitanike, jer u dvije srednje kategorije nalazimo 78% rezultata, tj. krivulja čestine je leptokurtična Distribucija rezultata treniranih ispitanika još više odstupa od normale, jer je negativno asimetrična. Najveći broj rezultata nalazi se u zadnjoj kategoriji što pokazuje, da je test prelagan za trenirane ispitanike, jer ih je previše postiglo najveći mogući broj bodova.



Slika 8. — Distribucija rezultata Schneiderovog testa kod netreniranih ispitanika.



Slika 9. — Distribucija rezultata Schneiderovog testa kod treniranih ispitanika.

Budući da su distribucije nepravilne, test je baždaren metodom decila. Tablice za određivanje vrijednosti dobivenih rezultata dane su u tabeli 16.

Tabela 16.

Decil	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
Netrenirani	10,5	11,7	12,3	12,8	13,3	13,9	14,4	14,9	15,4	> 15,4
Trenirani	12,8	14,6	15,2	15,8	16,3	16,8	17,2	17,6	18,0	> 18,0

U tabeli 19. iznesene su korelacije pojedinih elemenata testa s brojem bodova. Kako se vidi, najveću korelaciju s brojem bodova ima vrijeme koje je potrebno da se frekvencija srca poslije vježbe vrati na normalu. To znači da taj element najviše pridonosi vrijednosti testa. Porast frekvencije srca kod promjene položaja ne pridonosi skoro ništa, pa bi ga se moglo uopće i izostaviti.

Koeficijent korelacije između rezultata dobivenih u dvije serije mjerenja izvršenih u razmaku od 2 do 3 dana kod 46 vojnika bio je 0,62. Standardna pogreška jednog rezultata je 1,16.

U tabeli 17. uspoređeni su prosječni rezultati netreniranih i treniranih ispitanika. Kako se vidi, razlika je značajna, iako je relativno mala.

Tabela 17.

Oznaka grupe	N	Schneider test
Netrenirani	46	13,24±0,28
Trenirani	46	15,96±0,28
Razlika		2,72
SP_r		0,39
t		6,97
P		<0,001

Kako je koeficijent dosljednosti Schneiderovog testa mali, izračunat je i koeficijent dosljednosti pojedinih elemenata testa. Rezultati su izneseni u tabeli 18. Kako se vidi dosljednost tih elemenata također je malena, pa prema tome niti dosljednost cijelog testa nije mogla biti puno veća.

Tabela 18.

Eelementi testa	r_{12}
1. Puls u ležanju	0,67
2. Puls u stajanju	0,55
3. Porast frekvencije pulsa kod stajanja	0,41
4. Porast frekvencije pulsa nakon vježbe	0,51
5. Vrijeme do povratka na normalu iza vježbe	0,41
Ukupan broj bodova	0,62

Tabela 19.

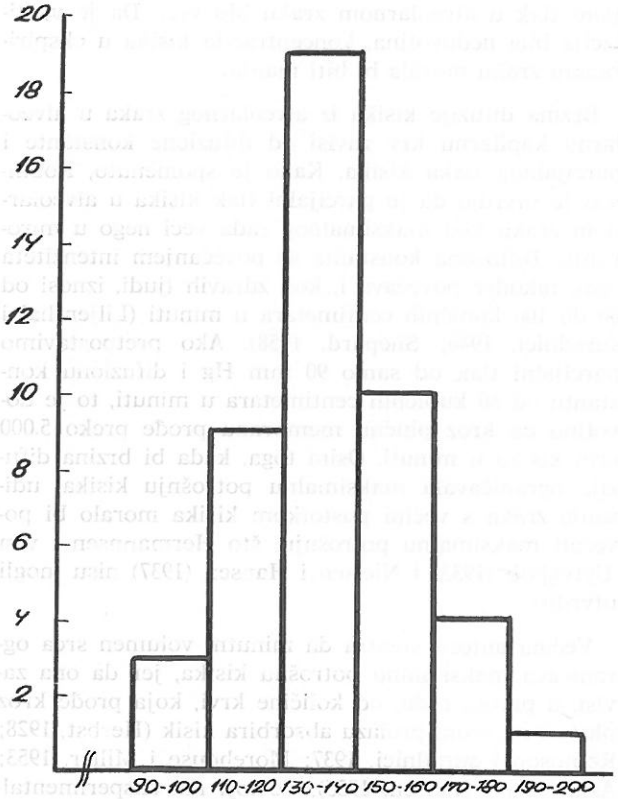
Elementi testa	r
1. Puls u ležanju	0,58
2. Puls u stajanju	0,62
3. Porast frekvencije pulsa kod stajanja	0,07
4. Porast frekvencije pulsa nakon vježbe	0,28
5. Vrijeme do povratka na normalu iza vježbe	0,67

4.4. *Barachov test*

Rezultati su izraženi indeksom kako je predložio Barach; prema tome manji broj pokazuje bolji rezultat. U tabeli 20. vidi se da je aritmetička sredina rezultata netreniranih ispitanika bila 143,91, a standardna devijacija 22,5. Raspon rezultata je bio od 95 do 220. Aritmetička sredina rezultata treniranih ispitanika bila je 136,58, a standardna devijacija 20,40. Raspon rezultata bio je 103 do 189.

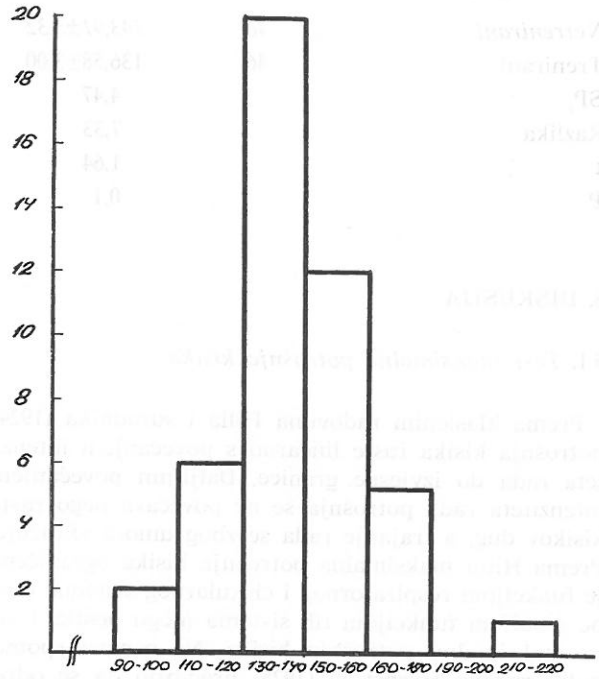
Tabela 20.

Ispitanici	N	M	SP	SD	Raspon
Netrenirani	46	143,91	3,32	22,50	95—220
Trenirani	46	136,58	3,00	20,40	103—189



Slika 10. — Distribucija rezultata Barachovog testa kod netreniranih ispitanika.

Distribucije rezultata prikazane su na slici 10. i 11. Distribucija rezultata netreniranih je leptokurtična, što pokazuje da test ne distribuira dobro ispitanike, jer je lagan i postoji interkorelacija elemenata (Guilford, 1954). Distribucija treniranih ispitanika je također leptokurtična.



Slika 11. — Distribucija rezultata Barachovog testa kod treniranih ispitanika.

Test je baždaren metodom decila i tablica za određivanje vrijednosti rezultata dana je u tabeli 21.

Koeficijent korelacije između rezultata dobivenih u dvije serije mjerenja izvršenih u razmaku od 2 do 3 dana kod 46 vojnika bio je 0,65, tj. slično kao i kod Schneiderovog testa. Standardna pogreška jednog rezultata je 13,29.

Tabela 21.

Decil	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
Netrenirani	167,1	160,1	152,5	144,9	140,0	135,9	131,3	126,7	114,1	< 114,1
Trenirani	167,5	157,1	147,9	141,9	137,0	132,2	127,3	119,2	109,0	< 109,0

U tabeli 22. uspoređeni su rezultati netreniranih i treniranih ispitanika. Kako se vidi, razlika nije značajna.

Tabela 22.

Oznaka grupe	N	Barachov test
Netrenirani	*46*	*143,91±3,32*
Trenirani	46	136,58±3,00
SP_r		4,47
Razlika		7,33
t		1,64
P		0,1

5. DISKUSIJA

5.1. *Test maksimalne potrošnje kisika*

Prema klasičnim radovima Hilla i suradnika (1924) potrošnja kisika raste linearno s povećanjem intenziteta rada do izvjesne granice. Daljnjim povećanjem intenziteta rada potrošnja se ne povećava nego raste kisikov dug, a trajanje rada se zbog umora skraćuje. Prema Hillu maksimalna potrošnja kisika ograničena je funkcijom respiratornog i cirkularnog sistema. Osobe s boljom funkcijom tih sistema mogu postići i veću maksimalnu potrošnju kisika. Na osnovu spomenutih radova Herbst je (1928) predložio da se određivanje maksimalne potrošnje kisika upotrebi kao metoda za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog i respiratornog sistema. On je izvršio seriju eksperimenata kod zdravih ljudi, bolesnika respiratornog sistema i kod bolesnika kardiovaskularnog sistema. Na temelju svojih ispitivanja on je zaključio, da je maksimalna potrošnja kisika smanjena kod respiratornih i srčanih bolesnika, a da kod zdravih ljudi maksimalnu potrošnju kisika ograničava, u prvom redu, funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema. Njegove nazore potvrdili su Hermannsen (1938) i Knipping (1937). Kod zdravih ljudi povećanjem intenziteta rada ventilacija raste i onda kada je već postignuta maksimalna potrošnja kisika (Herbst), a udisanjem čistog kisika maksimalna potrošnja se ne povećava (Hermannsen, Knipping). Kod plućnih bolesnika udisanjem čistog kisika maksimalna potrošnja kisika se povećava, a kod srčanih bolenika se ne povećava (Knipping). Kod prvih je ograničavajući faktor maksimalne potrošnje respiratorni sistem a kod drugih, kao i kod zdravih ljudi, kardiovaskularni.

Christensen, Krogh i Linhard (1934) smatraju da potrošnju kisika kod maksimalnog rada ograničavaju slijedeći faktori: plućna ventilacija, brzina difuzije kišika iz alveolarnog zraka u alveolarnu krv, minutni volumen srca, brzina cirkulacije kroz mišiće i uvjeti pod kojima kisik difundira iz kapilara u tkivo.

Osim Herbsta, Hermannsena i Knippinga i drugi autori smatraju da kod zdravog čovjeka ventilacija ne ograničava maksimalnu potrošnju kisika (Astrand, 1952; Morehouse i Miller, 1953; Robinson, 1938; Nielsen i Hansen, 1937; Karpovich, 1953). Za vrijeme određivanja maksimalne potrošnje kisika ispitanik diše kroz sistem cijevi i ventila i to povećava subjektivni napor i neugodni osjećaj koji nastaje uslijed velike ventilacije. Nielsen je (1936) izračunao da ventilacija može dostići potrošak od 9% totalnog metabolizma za vrijeme maksimalnog rada, što dokazuje da i objektivno ventilacija jako opterećuje ispitanika i time smanjuje toleranciju za rad. Ipak je Robinson sa suradnicima (1937) utvrdio da je parcijalni tlak kisika u alveolarnom zraku za vrijeme maksimalnog rada veći nego u mirovanju, a da je tlak ugljičnog dioksida manji. Prema tome, sa stanovišta izmjene plinova u plućima ventilacija je dovoljna. Kod naših ispitanika mogli smo utvrditi da, povećanjem intenziteta rada do maksimalnog, koncentracija kisika u ekspiriranom zraku raste i, prema tome, je vjerojatno i parcijalni tlak u alveolarnom zraku bio veći. Da je ventilacija bila nedovoljna, koncentracija kisika u ekspiriranom zraku morala bi biti manja.

Brzina difuzije kisika iz alveolarnog zraka u alveolarnu kapilarnu krv zavisi od difuzione konstante i parcijalnog tlaka kisika. Kako je spomenuto, Robinson je utvrdio da je parcijalni tlak kisika u alveolarnom zraku kod maksimalnog rada veći nego u mirovanju. Difuziona konstanta se povećanjem intenziteta rada također povećava i, kod zdravih ljudi, iznosi od 60 do 100 kubičnih centimetara u minuti (Liljenthal i suradnici, 1946; Shepard, 1958). Ako pretpostavimo parcijalni tlak od samo 90 mm Hg i difuzionu konstantu od 60 kubičnih centimetara u minuti, to je dovoljno da kroz plućnu membranu prođe preko 5.000 ccm kisika u minuti. Osim toga, kada bi brzina difuzije ograničavala maksimalnu potrošnju kisika, udisanje zraka s većim postotkom kisika moralo bi povećati maksimalnu potrošnju, što Hermannsen i van Uytvahdk (1933) i Nielsen i Hansen (1937) nisu mogli utvrditi.

Većina autora smatra da minutni volumen srca ograničava maksimalnu potrošnu kisika, jer da ona zavisi, u prvom redu, od količine krvi, koja prođe kroz pluća i na svom prolazu absorbira kisik (Herbst, 1928; Robinson i suradnici, 1937; Morehouse i Miller, 1953; Asmussen i Nielsen, 1955). Postoji niz eksperimentalnih radova, koji pokazuju da potrošnja kisika raste linearno s povećanjem minutnog volumena sve do najvećih vrijednosti (Christensen, 1931; Asmussen i Nielsen, 1955; Freedman i suradnici 1955). Kada se kod izvjesne vrste rada postigne maksimalni minutni volumen srca, potrošnja kisika više ne raste. Ipak postoje razlozi za mišljenje da u mnogim situacijama rada, za koje se vjeruje da dovode do maksimalne potrošnje kisika, faktor koji ograničava potrošnju nije minutni volumen srca nego veličina vaskularne mreže u aktivnim mišićima. Tako je Christensen (1932) utvrdio da je maksimalna potrošnja kisika, koja se mogla postići kod rada rukama bila 2,9 litara u minuti, dok je kod rada nogama kod istog ispitanika postignuta potrošnja od 4,49 litara u minuti. To znači

da je potrošnja za vrijeme maksimalnog rada rukama bila relativno niska i pokazuje da je masa aktivnih mišića, odnosno površina kapilarne mreže također jedan od faktora, koji ograničava potrošnju kisika. Druga ilustracija su podaci Christensena i Högberga (1950) i Astranda (1952). Ti su autori našli da je kod trčanja na skijama, gdje osim mišića nogu rade i mišići leđa i ruku, potrošnja kisika veća nego kod trčanja ili rada na biciklergometru. Najzad su Taylor i suradnici (1955) pokazali da je maksimalna potrošnja kod trčanja na pokretnom sagu, kada se uz to radi i na ručnom ergometru, veća nego kad se samo trči. Prema tim eksperimentima maksimalna potrošnja kisika kod trčanja nije ograničena samo minutnim volumenom srca nego i kapilarnom mrežom u mišićima. Ako se broj aktivnih mišića poveća i ako se prema tome otvori više kapilara, onda se poveća i potrošnja kisika. To znači da se niti kod najnapornijeg trčanja ne postiže maksimalni minutni volumen srca, nego da postoji izvjesna rezerva, određena ne minutnim volumenom srca, nego kapilarnom mrežom u aktivnim mišićima. Kako su spomenuti eksperimenti vršeni kod treniranih ispitanika, postoji mogućnost, da ovi zaključci vrijede samo za trenirani kardiovaskularni sistem, a da se kod netreniranog sistema već i samim trčanjem postiže maksimalni minutni volumen srca i prema tome i maksimalna potrošnja kisika.

Difuzija kisika iz kapilara u tkivo mišića ovisi o količini intersticijalne tekućine. Što je manje intersticijalne tekućine, to je kraći i put za difuziju kisika (Dahlström, 1950). Kjellberg i suradnici (1949) utvrdili su da trenirani sportaši imaju manji volumen intersticijalne tekućine nego netrenirani i, prema tome, kod njih bi i uvjeti za difuziju kisika bili povoljniji. Ipak, taj faktor igra sigurno manju ulogu nego kapilarizacija mišića.

Osim spomenutih faktora moramo spomenuti i samu krv koja prenosi kisik, tj. njenu sposobnost da se u plućima saturira kisikom. Ta sposobnost zavisi od sadržaja hemoglobina i može varirati od 18,5 do 22,5 ccm na 100 ccm arterijelne krvi (Karpovich, 1953). Koliko će se od toga absorbirati na periferiji zavisi, osim od spomenutih faktora kapilarizacije i uvjeta difuzije, također od niza fizikalno-kemijskih faktora krvi i tkiva. Miješana venozna krv sadrži kod maksimalnog rada 4 do 6% kisika i prema tome arterijelno-venozna razlika može biti 12 do 18 ccm kisika na 100 ccm krvi (Asmussen i Nielsen, 1955). Robinson i suradnici (1937) utvrdili su da se sposobnost krvi za prenos kisika kod trkača, koji su imali naročito veliku maksimalnu potrošnju kisika kod trčanja, nije razlikovala od sposobnosti krvi netreniranih ispitanika i smatraju, da je velika maksimalna potrošnja kisika uvjetovana najvećim dijelom velikim minutnim volumenom srca. Freedman i suradnici (1955) kod submaksimalnog intenziteta rada nisu mogli utvrditi da trenirani imaju veću arterio-venoznu razliku kisika od netreniranih. Asmussen i Nielsen (1955), uspoređujući podatke raznih autora, nisu mogli utvrditi da kod rada na biciklergometru trenirani ispitanici imaju veću arterio-venoznu razliku kisika, dapače, prema podacima Christensena (1931) i Jörgensena (1954), trenirani su kod maksimalnog napora imali manju arterio-venoznu razliku nego netrenirani kod svojeg maksimalnog napora. Na osnovu tih podataka Asmussen i Nielsen (1955) zaključuju da kod najbolje treniranih ispitanika arterio-venozna razlika kisika ostaje niska i relativno- konstantna i kod najvećeg napora i da se ta osobina može smatrati znakom dobre adaptacije cirkulacije na rad, jer se potrošnja kisika povećava većom cirkulacijom, tj. većim minutnim volumenom srca.

Test maksimalne potrošnje kisika, iako zavisi od mnogo faktora, ipak se smatra jednim od najboljih testova funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema (Dill, 1942; Astrand, 1952; Taylor, 1955). Taylor i suradnici (1955) smatraju, na osnovi radova svojih kolega (Keys i suradnici, 1945; Henschel i suradnici, 1950; Taylor i suradnici, 1949) i svojih, da je maksimalna potrošnja kisika relativno konstantna karakteristika nekog pojedinca i da promjene u toj veličini bolje pokazuju prave promjene u funkcionalnoj sposobnosti kardiovaskularnog sistema nego ikoji drugi test konstruiran za slične ciljeve. Spomenuti autori studirali su utjecaj eksperimentalne malarije, gladovanja, nedostatka vitamina i utjecaj mirovanja u krevetu na različite funkcije, među kojima i na kardiovaskularnu funkciju.

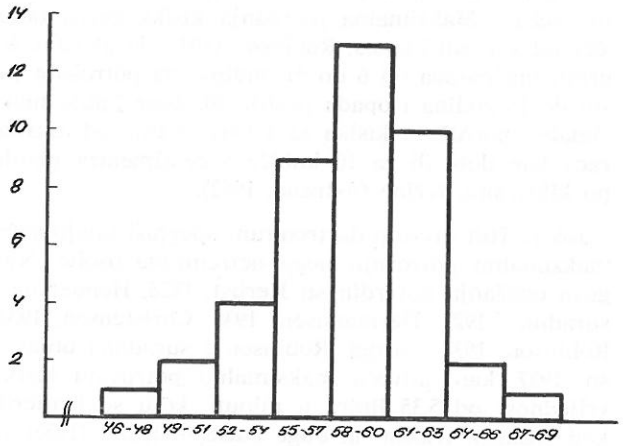
Srednje vrijednosti maksimalne potrošnje kisika, koje su različiti autori dobili kod grupa sličnih našima, uglavnom se slažu s našim rezultatima (Tabela 23). Kako iz razumljivih razloga maksimalna potrošnja kisika kao i minutni volumen srca zavisi od veličine pojedinca, za komparaciju rezultata, obzirom na kardiovaskularnu sposobnost, bolje je izraziti rezultate u volumenu kisika po jedinici površine tijela ili po kilogramu težine. Kako između težine i maksimalne potrošnje kisika postoji veća korelacija nego između potrošnje i površine tijela (Astrand, 1952; Buskirk, 1957), to se češće upotrebljava maksimalna potrošnja kisika izražena u kubičnim centimetrima po kilogramu težine. Maksimalna potrošnja kisika zavisi također od starosti i spola. Robinson (1938) je utvrdio, na grupi muškaraca od 6 do 91 godinu, da potrošnja raste do 18 godina i opada poslije 30. Žene imaju maksimalnu potrošnju kisika za 1 litru manje od muškaraca iste dobi ili za 10 kubičnih centimetara manje po kilogramu težine (Astrand, 1952).

Još je Hill utvrdio da trenirani sportaši imaju veću maksimalnu potrošnju nego netrenirane osobe. Njegova opažanja potvrdili su Herbst, 1928, Henderson i suradnici, 1927, Hermannsen, 1938, Christensen, 1932, Robinson, 1937 i drugi. Robinson i suradnici objavili su, 1937, kao najveću maksimalnu potrošnju kisika vrijednost od 5,35 litara u minuti, koju su izmjerili kod jednoga trkača na duge staze. Astrand (1955) je našao kod jednoga trkača na skijama još veću vrijednost, 5,88 litara u minuti ili 81 kubični centimetar na kilogram težine u minuti. Kako se iz tabele 23. vidi, grupe koje su se sastojale od treniranih ispitanika imale su u prosjeku veću maksimalnu potrošnju kisika od grupa, koje su se sastojale od netreniranih.

Tabela 23.

Autor	N	Starost	Maksimalna O_2 potr. lit/min M	SD	ccm/kg/min M	SD	Ispitanici
Astrand (1952)	42	26 (20—33)	4,11	0,37	58,6	4,1	trenirani
Buskirk (1957)	39	22,5	3,44	0,46	44,6	5,5	netrenirani
Buskirk (1957)	5	20,2	4,32	0,35	65,8	3,4	trenirani
Knehr (1942)	14		3,45		49,6		netrenirani
Robinson (1938)	11	24,5 (20—29)	3,53		48,7		netrenirani
Slonim (1957)	50	21 (18—25)	4,05	0,39	55,4	4,23	trenirani
Taylor (1955)	69	18—35	3,58	0,499	48,0	7,8	netrenirani

Naša grupa netreniranih ispitanika bila je dobro izjednačena obzirom na dob i način života, a samo trojica ispitanika znatnije su odstupala od prosječne težine i visine. Vjerojatno je zbog toga i standardna devijacija rezultata bila manja nego kod drugih, a distribucija pravilnija, naročito kada je eliminiran faktor težine kod rezultata izraženih u kubičnim centmetrima kisika po kilogramu težine. Da se maksimalna potrošnja kisika normalno distribuira možemo vidjeti i po distribuciji, koju smo izradili na osnovu podataka Astranda (Sl. 12). Njegova grupa je bila heterogenija od naše obzirom na starost, način života i stupanj treniranosti. Osim većine ispitanika, koja se sastojala od studenata fizičkog odgoja, među ispitanicima nalazili su se autor i njegovi kolege, te neki vrhunski atletičari.



Slika 12. — Distribucija rezultata testa maksimalne potrošnje kisika izraženih u ccm/kg/min kod Astrandovih ispitanika

Grupa treniranih sportaša nije bila homogena obzirom na tjelesnu težinu i stupanj treniranosti. Oba faktora djeluju na maksimalnu potrošnju kisika i zato nije čudo da je distribucija negativno asimetrična (Sl. 4). Manje treniranih i lakših od srednje vrijednosti ima više, jer su te osobine fiziološki ograničene, pa zato i distribucija mora biti negativno asimetrična. Kada je kod rezultata izraženih u kubičnim centimetrima na kilogram težine eliminiran faktor težine, onda je distribucija postala pravilnija (Sl. 5). Veći rezultati pripadaju bolje treniranim trkačima, a manji plivačima. Moramo pri tome uzeti u obzir i to, da je određivanje maksimalne potrošnje kisika vršeno kod trčanja, za koje su trkači specifično trenirani. Budući da, kako smo spomenuli u poglavlju o rezultatima, ove distribucije ipak značajno ne odstupaju od teoretskih, smatramo da i trkači i plivači, obzirom na sposobnost kardiovaskularnog sistema, predstavljaju uzorak iste populacije.

Baždarenjem testa dobili smo skale, prema kojima možemo odrediti vrijednost svakog individualnog rezultata. Kako smo već naglasili, skala dobivena metodom smanjenih razlika bolja je od skale decila, jer omogućuje podjednako dobro razlikovanje individualnih rezultata u zoni najboljih i najslabijih, kao i u zoni srednjih rezultata. U našem primjeru, rezultate netreniranih iznad 3,820 i ispod 3,062 odnosno iznad 69,9 i ispod 51,1 u skali decila ne možemo više diferencirati, dok u skali smanjenih razlika možemo odrediti vrijednost rezultata, koji su puno veći ili manji od navedenih. Obzirom na varijabilitet jednog te istog ispitanika uzima se da je neki rezultat normalan ako pada u peti ili šesti decil. Rezultati, koji padaju ispod granične vrijednosti četvrtog decila su slabiji, a rezultati koji padaju iznad granične vrijednosti šestog decila su bolji od normale. U skali smanjenih razlika, rezultati koji padaju između Z vriednosti 47,5 i 52,5 su normalni, rezultati ispod 47,5 su slabiji, a rezultati iznad 52,5 su bolji od normale.

Osjetljivost testa očituje se u razlikama među rezultatima različitih ispitanika. Što su te razlike veće, to je i osjetljivost testa, tj. sposobnost diferencijacije veća. Kao mjerilo osjetljivosti testa može poslužiti standardna devijacija rezultata, koja je to veća što se pojedini rezultati među sobom više razlikuju. Standardna devijacija testa maksimalne potrošnje kisika nije relativno velika, jer iznosi samo 8% aritmetičke sredine, ali obzirom da naša skala ne počinje od 0, relativni varijabilitet u našem slučaju ne možemo upotrebiti kao mjeru osjetljivosti testa. Ako uzmemo u obzir da je standardna pogreška jednog mjerenja 52 ccm/min i 0,87 ccm/kg/min onda je skala mjerenja po 0,143 ccm, odnosno 1,90 ccm (polovica standardne devijacije) dovoljno velika da diferencira različite ispitanike. Osim toga distribucija rezultata je pravilna što također pokazuje da test relativno dobro diskriminira, jer je jednak broj najboljih i najgorih, a najveći broj srednjih rezultata, što znači da je osjetljivost jednolika na krajevima skale.

Od svih metrijskih karakteristika najvažnija je vjernost ili dosljednost testa. Dosljedan test će pri mjerenju iste veličine, pri jednakim uvjetima, uvijek pokazivati isti rezultat. Buskirk je (1957) između dva mjerenja maksimalne potrošnje kisika kod 35 ispitanika našao za rezultate u l/min koeficijent vjernosti od 0,98, a za rezultate u ccm/kg/min od 0,96. Taylor i suradnici su (1955) kod 69 ispitanika našli za rezultate u l/min koeficijent vjernosti od 0,95. Koeficijent vjernosti koji smo mi našli između prvog i drugog mejrenja kod 39 vojnika bio je 0,97, odnosno za rezultate u ccm/kg/min 0,95, što znači negdje između citiranih koeficijenata. Taj koeficijent je vrlo velik, što nam pokazuje da je test vjeran i pouzdan. Koeficijent vjernosti zavisi, osim od testa, također i od ispitanika, tj. populacije koju se testira. Naši ispitanici bili su dobro uvježbani na eksperimentalni postupak, jer je prije utvrđivanja maksimalne potrošnje kisika vršeno barem tri do četiri puta određivanje potrošnje kisika, Sam tehnički postupak mjerenja ventilacije, analiza ekspiriranog zraka i izračunavanja volumena potrošnje kisika, vršen je vrlo pažljivo tako da je tehnička greška svedena na minimum. Razlike između prvog i drugog mjerenja iznosile su od + 150 do — 150 ccm kisika; prosječna razlika bila je 7 ccm, a standardna pogreška razlika 43 ccm.

Valjanost testa maksimalne potrošnje kisika za mjerenje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema određena je na osnovi pretpostavke da trenirani ispitanici imaju veću funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema od netreniranih. Postoji mogućnost da razlike u rezultatima treniranih i netreniranih pokazuju zapravo razlike funkcionalne sposobnosti cijelog organizma. Ako pođemo od pretpostavke da kardiovaskularni sistem ograničava funkcionalnu sposobnost organizma, onda dobivena razlika vjerojatno ipak ukazuje, u prvom redu, na različitu sposobnost kardiovaskularnog sistema. Netrenirani su se značajno razlikovali, kako od treniranih kao cjeline, tako i od plivača i trkača posebno. Koeficijent valjanosti testa je dosta visok, ali se prognoza pomoću testa popravlja samo za 54% od prognoze na slijepo, što ne izgleda mnogo. Ipak ako uzmemo u obzir veliki broj faktora, koji osim kardiovaskularne sposobnosti utječu na maksimalnu potrošnju kisika, onda je taj broj dosta realan.

Većina autora (Robinson i suradnici, 1937; Astrand, 1955; Buskirk i suradnici, 1957 i drugi) našli su kod trkača najveće vrijednosti maksimalne potrošnje kisika. To se može objasniti time, da trkači na srednje i duge staze imaju najbolji kardiovaskularni sistem, ali i time, budući da je maksimalna potrošnja određivana kod trčanja, da su oni specijalno adaptirani na taj rad. Da bi bar donekle isključili prigovor, da trenirani ispitanici imaju veću maksimalnu potrošnju kisika, jer su trenirani na trčanje kod kojega se ona određuje, mi smo kao trenirane ispitanike uzeli ne samo trkače nego i plivače. Plivači skoro nikada ne trče i za njih je trčanje bilo isto tako naporno i neugodno kao i za netrenirane ispitanike. Ako pogledamo rezultate plivača, vidimo da je njihova maksimalna potrošnja izražena u litrama u minuti bila veća nego kod trkača (Tabela 24.). Međutim, pogledamo li maksimalnu potrošnju određenu po kilogramu težine, vidimo da je ona manja nego kod trkača, jer je isključen faktor tjelesne težine, koja je kod plivača bila veća (Tabela 25).

Tabela 24.

		Maksimalna potrošnja kisika lit/min.			
Ispitanici	N	M	SP	SD	Raspon
Trkači	23	4,126	0,078	0,377	3,623—4,723
Plivači	23	4,673	0,088	0,423	4,038—5,578

Tabela 25.

		Maksimalna potrošnja kisika ccm/kg/min.			
Ispitanici	N	M	SP	SD	Raspon
Trkači	23	65,04	1,03	4,96	58—74
Plivači	23	56,30	0,70	3,38	50—63

Kako su i plivači i trkači imali veću maksimalnu potrošnju kisika po kilogramu težine od netreniranih ispitanika, može se zaključiti da trenirani ispitanici, bez obzira na specifičnost treninga, imaju relativno veću maksimalnu potrošnju kisika, ali da među treniranima ipak igra ulogu vrsta rada, kod kojega se određuje maksimalna potrošnja. Ipak ne smijemo zaboraviti mogućnost da su trkači možda imali bolji kardiovaskularni sistem, jer su duže i češće trenirali nego plivači, te da vjerojatno korelacija između tjelesne težine i bruto maksimalne potrošnje kisika nije linearna, pa da su plivači kod preračunavanja po kilogramu težine bili oštećeni. Vjerojatno da su svi ti faktori igrali izvjesnu ulogu.

5.2. *Step test*

Frekvencija srca nakon napornog rada ostaje na visini, kao za vrijeme rada, 5 do 10 sekundi, a onda pada u obliku eksponencijalne krivulje (Cotton i Dill, 1935; Johnson i suradnici, 1942). Vrijeme potrebno da se frekvencija srca vrati na normalu zavisi od intenziteta rada, trajanja rada i funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema ispitanika. Najkarakterističnije točke krivulje oporavka nalaze se na kraju druge, treće i četvrte minute, i na osnovu njih može se konstruirati eksponencijalna krivulja, na kojoj leže sve druge točke (Johnson i suradnici, 1942). Prema tome, mjerenjem frekvencije srca od prve do druge, druge i treće, treće i četvrte minute nakon prestanka rada može se odrediti krivulju oporavka pojedinog ispitanika.

Nakon napornog rada frekvencija srca može ostati povišena i više sati. Herxheimer (1948) smatra da povišena frekvencija ostaje zbog staze krvi u nogama uslijed dilatacije krvnih žila. Velike količine krvi budu isključene iz cirkulacije, pa radi održavanja minutnog volumena mora frekvencija srca ostati na višem nivou. Bandažiranjem nogu poslije rada vrijeme oporavka se može znatno skratiti. Prema tom shvaćanju brži oporavak srčane frekvencije kod treniranih i funkcionalno sposobnijih bio bi uvjetovan boljom vazoregulacijom nakon rada. Karrasch i Müller (1951) ne slažu se s teorijom Herxheimera, jer po istraživanjima Asmussena i suradnika (1939) bandažiranjem nogu može se usporiti srčana frekvencija i u mirovanju. Oni smatraju da je uzrok povećanoj frekvenciji poslije rada tonus simpatičkog vegetativnog nervnog sistema, uslijed impulsa iz mišića koji su radili.

Veličina frekvencije srca u oporavku nakon standardiziranog rada smatra se kao jedan od najpouzdanijih znakova dobre funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema (Karpovich, 1953). Većina testova na neki način uzima u obzir frekvenciju srca u oporavku i zbog toga, jer ju je vanredno lagano mjeriti. Glavna razlika među raznim testovima je način opterećenja, te intenzitet i trajanje rada. Penjanje na klupicu može se dobro standardizirati visinom klupice i ritmom penjanja. Isto tako mjenjajući visinu klupice ili ritam može se regulirati intenzitet rada. Trajanje rada mora biti dovoljno dugo da frekvencija srca za vrijeme rada dostigne plato, a to je 3 do 5 minuta.

Reakciju frekvencije pulsa nakon penjanja na klupicu upotrebili su mnogi autori kao test kardiovaskularne sposobnosti, ali je opterećenje kod raznih autora bilo različito (Schneider, 1920; Master, 1929; Karpovich, 1944). Zanimalo nas je kako opterećenje utječe na valjanost testa, pa smo izvršili dva eksperimenta. U prvom smo testirali grupu od 10 studenata i grupu od 10 treniranih sportaša s tri step testa različitog opterećenja. Prvi step test sastojao se u penjanju na klupicu od 30 cm, drugi na klupicu od 40 cm i treći na klupicu od 50 cm. Frekvencija penjanja je uvijek bila 30 u minuti. Rezultati tj. zbroj frekvencija pulsa u oporavku, prikazani su u tabeli 26. Kako se vidi, razlike između studenata i sportaša bile su to veće, što je veće bilo opterećenje. Razlika kod step testa od 50 cm bila je dva puta veća nego kod step testa od 30 cm.

Tabela 26.

Suma pulsa u tri minute oporavka

Grupa	N	30x30/5 min	30x40/5 min	35x50/5 min
Studenti	10	275,2±11,22	303,3± 9,44	364,7± 8,72
Sportaši	10	226,1±11,21	243,9±13,23	257,1±16,15
Razlike		49,1	59,4	107,6
SP_r		15,86	16,25	18,35
t		3,10	3,66	5,86
P		0,005	0,005	0,001

U drugom eksperimentu na isti način testirali smo sportaše prije i poslije tromjesečnog treninga. I tu su razlike bile to veće, što je bilo veće opterećenje. Dok razlike na step testu od 30 cm i 40 cm nisu bile značajne, razlika na step testu od 50 cm bila je visoko značajna. Sve to pokazuje da je valjanost mjerenja frekvencije pulsa u oporavku to veća, što je opterećenje veće i da za testiranje treniranih sportaša treba uzeti najveće opterećenje (Horvat i Medved, 1956).

Neki autori su kritizirali step test zbog toga, jer su smatrali da težina i visina odnosno dužina nogu utječe na rezultat. Prema našim ispitivanjima na grupi od 366 vojnika težina, visina i dužina nogu nisu pokazivali značajne korelacije s trajanjem rada na step testu uz visinu klupice od 50 cm, niti s veličinom frekvencije srca u oporavku (Maver i Horvat, 1957). Do istih rezultata došli su nedavno i drugi (Keen i Sloan, 1958).

Već u spomenutom radu mogli smo utvrditi da naši ljudi, tj. vojnici, koje smo tada ispitivali, imaju puno bolje rezultate na Harvardskom step testu (M = 92,8) nego prosječni američki studenti na kojima je test baždaren. Ako bi za naše ispitanike u ovom radu izračunali Harvardski indeks on bi iznosio 94,76 bodova, a raspon bi bio 78 do 116 bodova. Autori Harvardskog step testa našli su takve rezultate kod studenata koji se bave sportom, tj. 94 boda s rasponom 81 do 140. Kod studenata koji se ne bave sportom isti autori su našli srednju vrijednost 75 bodova, a raspon 15 do 120 bodova. Collumbine i suradnici (1950) našli su kod grupe mladića od 20 godina na Ceylonu srednju vrijednost 83 boda, a Keen i Sloan (1958) kod grupe Južnoafrikanaca 85 bodova. Ovi ispitanici su izdržali 5 minuta rada i prema tome možemo izračunati i zbroj frekvencija srca u oporavku kao kod naših ispitanika. Kod mladića sa Ceylona taj zbroj bio bi 365, a kod mladića iz Južne Afrike 352. Ti bi rezultati, prema našim normama, spadali u prvi decil. Ne smijemo zaboraviti da je klima na Ceylonu i u Južnoj Africi puno toplija i sigurno je to djelovalo na rezultate. Vračarić i Radmili (1955), koji su također ispitivali jugoslavenske vojnike, dobili su kod grupe od 276

ispitanika prosječni rezultat 95,88 bodova, a raspon od 62 do 137, što odgovara zbroju frekvencija pulsa u oporavku od 312,89. Taj rezultat spada kao i kod naših u peti decil.

Ispitivana grupa treniranih imala je prosječan zbroj frekvencija srca u oporavku 276,09, što odgovara rezultatu od 109 bodova. To je također više nego što su autori step testa našli kod američkih studenata, koji se bave sportom (94 boda). Ta se razlika može objasniti time, što je većina naših ispitanika vrlo intenzivno trenirala i bavila se sportom, koji naročito utječe na kardiovaskularni sistem.

Osjetljivost step testa za netrenirane ispitanike, sudeći po distribuciji, je dobra, jer su rezultati distribuirani u obliku normalne krivulje. Razlika između najboljeg (201) i najgoreg (373) netreniranog ispitanika je dosta velika, a također i standardna devijacija kao mjera za prosječnu razliku između pojedinih ispitanika (35,66). Iako relativni varijabilitet nije velik, jer standardna devijacija iznosi 11% srednje vrijednosti, ipak, obzirom da nemamo skalu s apsolutnom nulom, smatramo da test dovoljno diskriminira pojedine ispitanike. Za trenirane ispitanike izgleda da je i step test s visinom klupice 50 cm prelagan, jer je većina ispitanika imala bolje rezultate od moda, i distribucija je negativno asimetrična.

Vjernost step testa nije velika, iako smo frekvenciju srca u oporavku mjerili elektrokardiografski, pa smo tako izbjegli eventualne greške, koje mogu nastati kod palpatornog mjerenja. Korelacija rezultata dobivenih na osnovu elektrokardiografski izmjerenog pulsa i rezultata dobivenih palpatornim mjerenjem pulsa bila je 0,99, što pokazuje da iskusni ispitivač i palpacijom pulsa može točno izmjeriti frekvenciju srca u oporavku. Ako uzmemo kao donju granicu koeficijenta vjernosti 0,80, onda se naš koeficijent od 0,84 može smatrati još dosta velikim da test smatramo kao upotrebiv. Zbog male vjernosti standardna pogreška jednog rezultata je dosta velika, 15,44 ili 40% standardne devijacije, što umanjuje vrijednost dobivenih rezultata.

Iako je razlika između rezultata netreniranih i treniranih visoko značajna, ipak je koeficijent valjanosti previše malen da bi mogli utvrditi, da ovaj test točno mjeri bilo treniranost, bilo kardiovaskularnu sposobnost. Prognostička efikasnost testa je samo 15%, drugim riječima, upotrebom testa naša se prognoza kardiovaskularne sposobnosti poboljšava samo za 15% od prognoze na slijepo, tj. kada uopće ne bi testirali nego svakom ispitaniku prognozirali prosječan rezultat. Možda je razlog tome da naša netrenirana grupa u prosjeku već posjeduje tu osobinu kardiovaskularnog sistema u tolikom stupnju, da su razlike prema treniranim premalene da bi test mogao imati veću valjanost.

5.3. *Schneiderov test*

Principi na kojima se osniva određivanje kardiovaskularne sposobnosti Schneiderovim testom svakako su ispravni, kako je to pokazao Schneider, a i mnogi drugi autori (Johnson, 1946; Taylor i Brown, 1944). Grupa ljudi, koji imaju bolju kardiovaskularnu sposobnost, ima nižu frekvenciju pulsa, reakcija na promjenu položaja i rad je manja, frekvencija srca se poslije rada brže vrati na normalu, a krvni tlak pri promjeni položaja se poveća. Problem se sastoji u tome, da li se ti principi mogu primjeniti i za diskriminaciju individua i da li se te reakcije mogu točno odrediti samo jednim mjerenjem.

Prema Schneideru, normalna vrijednost za netrenirane ispitanike je od 11 do 13 bodova. Darnall (1937) je kod grupe netreniranih ispitanika našao srednju vrijednost 13,37, a Taylor i Brown (1944) 10,7. Raspon rezultata je bio od 1 do 16, a standardna devijacija 3,01. Cureton je (1951) kod olimpijskih kandidata našao srednju vrijednost 16 bodova, s rasponom od 11 do 18 bodova i standardnom devijacijom 3,14.

Naši rezultati se prema tome slažu s rezultatima Darnalla za netrenirane i rezultatima Curetona za trenirane ispitanike, samo što je raspršenje naših rezultata manje.

Osjetljivost Schneiderovog testa je, kako se vidi po distribuciji rezultata, mala. Većina ispitanika se nalazi u dvije srednje kategorije, što pokazuje da taj test nedovoljno diskriminira, bilo zbog toga što je prelagan ili zbog toga što postoje velike interkorelacije između pojedinih elemenata testa. Za trenirane ispitanike jasno je, da je test previše lagan, jer je najveći broj ispitanika postigao maksimalni broj bodova. Sudeći prema standardnoj devijaciji test također ne diskriminira dovoljno, jer je srednja razlika između ispitanika samo 1,89 boda.

Osim slabe osjetljivosti Schneiderov test je i premalo dosljedan. Taylor i Brown su kod 75 ispitanika našli koeficijent dosljednosti od 0,54. Naš koeficijent je nešto veći (0,62), ali ipak toliko malen, da diskreditira Schneiderov test za mjerenje individualnih razlika. To se vidi i po standardnoj pogrešci jednog mjerenja, koja iznosi 1,16, tj. skoro koliko i prosječna razlika između pojedinih ispitanika.

Razlika između treniranih i netreniranih ispitanika je značajna, što znači da ovaj test može diskriminirati grupe s različitom sposobnošću kardiovaskularnog sistema; ali kako je njegova dosljednost mala, onda ni njegova valjanost ne može biti veća. Koeficijent valjanosti nismo računali, jer su distribucije sasvim nepravilne. Ispitivanja i drugih autora potvrđuju da se Schneiderov test ne može upotrebiti za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema za tjelesni rad (Taylor i Brown, 1944; Karpovich, 1953; Clarke, 1951).

Vjernost pojedinih elemenata Schneiderovog testa, tj. frekvencija pulsa i veličine krvnog tlaka u raznim položajima i nakon malog napora, također je malena. To pokazuje da te veličine stoje pod utjecajem velikog broja varijabilnih faktora, te da se ne mogu točno mjeriti. Od svih elemenata ipak najviše pridonosi sumnjivoj vrijednosti toga testa vrijeme, koje je potrebno da se frekvencija srca poslije vježbe vrati na normalu.

5.4. *Barachov test*

Iako se testovi u mirovanju skoro uopće više ne upotrebljavaju, Cureton (1951) preporučuje Barachov test kao jedan od najboljih jednostavnih kardiovaskularnih testova za testiranje sportaša. On je ustanovio da se pomoću tog testa može najbolje prognozirati izdržljivost za kratko i brzo trčanje.

Cureton je kod grupe od 200 studenata našao srednju vrijednost od 172,1, raspon od 70 do 240, sa standardnom devijacijom od 24,8. Kod treniranih sportaša srednja vrijednost je bila 141, raspon od 100 do 155, a standardna devijacija 0,12.

Ako usporedimo naše rezultate vidimo da su vojnici imali slične srednje vrijednosti kao trenirani sportaši u Curetonovoj grupi. Već prema tome možemo zaključiti da taj test ne može biti valjan za diferencijaciju kod naših ljudi, jer i netrenirani imaju dobre rezultate. Trenirani u našoj grupi imali su nešto bolji rezultat od netreniranih, ali je razlika statistički neznačajna.

Dosljednost ovog testa je također premala da bi se mogao upotrebiti za individualno testiranje.

5.5. *Zaključna diskusija*

Valjan test treba biti takav, da izazvani fenomen bude učinak što manjeg broja različitih faktora. Test će biti to valjaniji, što izaziva izražaj samo jedne, dobro određene osobine (Bujas, R. i Z., 1942). Funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema već po nazivu nije jedinstvena osobina, nego složena od funkcionalne sposobnosti srca i funkcionalne sposobnosti krvnih žila. Ako uzmemo još u obzir da kako srce, tako i krvne žile, stoje pod utjecajem vegetativnog živčanog i endokrinog sistema, onda vidimo kako je ta sposobnost kompleksna. Postoji čitav niz poremećaja funkcije kardiovaskularnog sistema, a da su pri tome i srce i krvne žile potpuno normalni. Isto tako, neka oboljenja endokrinog sistema mogu jako smanjiti funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema. Sve to pokazuje kako je teško konstruirati neki test, koji bi valjano mjerio funkcionalnu sposobnost kardiovaskularnog sistema.

Funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema očituje se u adaptaciji na povećane potrebe organizma. Kriterij za uspješnost te adaptacije je ravnoteža između potrebe i ponude krvi. Da li je ta ravnoteža postignuta može se kod čovjeka samo indirektno zaključiti. Ostaje još uvijek otvoreno pitanje da li je maksimalna adaptacija kardiovaskularnog sistema, izražena u maksimalnom minutnom volumenu srca, najbolji kriterij funkcionalne sposobnosti. Prvo, nije sigurno da li kod čovjeka možemo izazvati maksimalni minutni volumen srca. Drugo, nije potpuno jasno da li je uopće maksimalna sposobnost srca najvažniji faktor u tako kompliciranom sistemu. Maksimalni minutni volumen srca potreban je samo u vrlo rijetkim situacijama pri maksimalnoj aktivnosti velikih grupa mišića. Puno češće dolazi do zatajenja funkcije radi dugotrajnog submaksimalnog napora mišića i srca. Obično se predpostavlja da čovjek, koji može postići veći maksimalni minutni volumen srca, može dulje i s manjim naporom izdržati i submaksimalna opterećenja, što u stvarnosti ne mora biti tako. Najzad, kod dugotrajnih submaksimalnih napora najčešće zataji vaskularni sistem i dolazi do takozvanog perifernog kolapsa.

U krajnjoj liniji niti se ne može točno definirati što je funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema i da li postoji neka opća funkcionalna sposobnost zajednička za sve životne situacije. Malo je vjerojatno da će hipertrofično srce jednog trkača na duge staze, koje može postići veliki minutni volumen, bolje podnijeti napore jedne narkoze i operacije nego normalno srce. Isto tako možemo sumnjati da će takav atletičar podnijeti napore dugotrajnog marša pod punom ratnom spremom, iako može postići veliki minutni volumen srca, jer mu taj faktor u toj situaciji neće trebati. Pitanje je također, da li bi se atletičarev kardiovaskularni sistem mogao bolje adaptirati na nagle promjene gravitacije u modernom mlaznom avionu.

Testovi, konstruirani za mjerenje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema, osnivaju se na pretpostavci da između ljudi s različitom kardiovaskularnom sposobnošću postoje razlike i da se te razlike mogu mjeriti. Postoje različita mišljenja koje se reakcije kardiovaskularnog sistema mogu upotrebiti da se te razlike ustanove i izmjere. Većina modernih testova osniva se na mjerenju reakcija na veća opterećenja. Mi smo se kod step testa uvjerili da su razlike to veće, što je opterećenje veće. Ako se upotrebljava maksimalno opterećenje, potrebno je odrediti neki kriterij po kojem će se zaključiti da je ispitanik postigao neku graničnu vrijednost kardiovaskularne funkcije.

U ovom radu također smo pošli od pretpostavke da između ljudi s različitom funkcionalnom sposobnošću kardiovaskularnog sistema postoje neke razlike. Da bi bili što sigurniji da te razlike postoje i da su dovoljno velike da se mogu mjeriti, uzeli smo grupu normalnih zdravih ljudi i grupu treniranih sportaša, za koje je sigurno da imaju, barem što se tiče maksimalnih vrijednosti, bolju funkcionalnu sposobnost nego netrenirani. Ispitali smo četiri tipična testa i pokušali odrediti njihove metrijske karakteristike. Pri tome smo svjesni da je broj ispitanika daleko od onoga, koji bi bio potreban za točno određivanje metrijskih karakteristika nekog testa, kako se to radi u psihometriji. Teškoće su se sastojale u tome, što je svaki ispitanik morao biti individualno testiran, što je određivanje maksimalne potrošnje kisika dug i tehnički kompliciran postupak i, najzad, što je vrlo teško doći do veće grupe ispitanika za takva ispitivanja. Ipak smatramo da smo i pomoću ovog broja ispitanika približno mogli odrediti metrijske karakteristike upotrebljenih testova.

Test maksimalne potrošnje kisika kod trčanja, iako zavisi od mnogo faktora, ipak je vjeran test i pokazuje visoko značajne razlike između treniranih i netreniranih osoba. Budući da je maksimalna potrošnja kisika ograničena maksimalnim minutnim volumenom srca ili krvnih žila u aktivnim organima, razlike u rezultatima indirektno pokazuju na razlike u funkcionalnoj sposobnosti kardiovaskularnog sistema za maksimalne napore. Iako je koeficijent valjanosti relativno visok, prognoza se testom popravlja za 54% od prognoze na slijepo, što je obzirom na druge faktore dosta realno.

Step test, odnosno frekvencija srca u oporavku poslije submaksimalnog rada, nije tako vjeran test, ali također može razlikovati trenirane od netreniranih ispitanika. Ako se upotrebi opterećenje manje od onoga, koje preporučuje Brouha i suradnici, onda je razlika između treniranih i netreniranih u toliko manja, ukoliko je i opterećenje manje. Koeficijent valjanosti ovog testa ipak je malen i prognoza se testom popravlja samo za 15%.

Između step testa i maksimalne potrošnje kisika kod trčanja ne postoji povezanost, jer je koeficijent korelacije samo 0,15. To pokazuje da step test mjeri drugi aspekt kardiovaskularne sposobnosti nego test maksimalne potrošnje kisika. To nije ni čudno, jer step test mjeri reakciju nakon opterećenja i uzima u obzir brzinu oporavka kardiovaskularnog sistema nakon rada. Malena korelacija između ta dva testa opravdava sumnju da ne postoji opća funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema i pokazuje da se može govoriti o raznim funkcionalnim sposobnostima, kao na primjer o funkcionalnoj sposobnosti kardiovaskularnog sistema za maksimalne napore i funkcionalnoj sposobnosti kardiovaskularnog sistema za oporavljanje nakon napora. Iako je trenirana grupa superiornija u obje osobine, pojedinci posjeduju te osobine u različitoj mjeri.

Testovi u mirovanju, Schneiderov i Barachov, nisu dovoljno pouzdani mjerni instrumenti i prema tome se pomoću njih ne može ništa mjeriti. Test koji nije pouzdan, ne može biti ni valjan.

Iako je broj naših ispitanika bio relativno malen, iako je problem neke opće funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema ostao otvoren, ipak smatramo, da smo mogli utvrditi, koji se testovi za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema mogu upotrebiti i koji mogu s određenom točnošću mjeriti neke aspekte funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema

6. ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata istraživanja može se zaključiti slijedeće:

1. Funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema je kompleksna osobina, koja osim od srca i krvnih žila zavisi i od niza drugih faktora, u prvom redu neurovegetativnog i endokrinog sistema.

2. Vjerjatno je, da ne postoji funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema zajednička za sve životne situacije, nego niz specifičnih sposobnosti za razne aktivnosti i situacije.

3. Testiranje kardiovaskularnog sistema počiva na pretpostavci, da između ljudi različite kardiovaskularne sposobnosti postoje razlike i da se te razlike mogu mjeriti.

4. Najveće razlike u funkcionalnoj sposobnosti kardiovaskularnog sistema za maksimalne napore postoje između netreniranih ljudi i treniranih sportaša specijalnih disciplina.

5. Što je opterećenje veće to su i razlike u reakcijama kardiovaskularnog sistema različitih ljudi veće.

6. Test maksimalne potrošnje kisika kod trčanja je pouzdan i osjetljiv test. Koeficijent pouzdanosti je 0,95. On mjeri kardiovaskularnu sposobnost za maksimalne napore i značajno razlikuje trenirane ispitanike od netreniranih. Koeficijent valjanosti testa je 0,88, a prognoza se testom popravlja za 54% od prognoze na slijepo.

7. Step test mjeri sposobnost kardiovaskularnog sistema za oporavljanje nakon submaksimalnog rada. Njegov koeficijent pouzdanosti je 0,84. On također značajno razlikuje trenirane od netreniranih ispitanika, ali mu je koeficijent valajnosti 0,53 i prognoza se popravlja samo za 15%.

8. Koeficijent korelacije između step testa i testa maksimalne potrošnje kisika kod trčanja je 0,15, što pokazuje, da oni ne mjere istu osobinu, iako oba razlikuju trenirane od netreniranih ispitanika To opravdava sumnju u postojanje opće funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema.

9. Schneiderov i Barachov test nisu ni pouzdani ni osjetljivi mjerni instrumenti, pa se pomoću njih ne može mjeriti funkcionalna sposobnost kardiovaskularnog sistema.

10. Iako je broj ispitanika bio relativno malen, ipak smatramo da smo mogli utvrditi, koji se testovi za određivanje funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema mogu praktično upotrebiti i koji mogu s određenom točnošću mjeriti neke aspekte funkcionalne sposobnosti kardiovaskularnog sistema.

LITERATURA

1. *Asmussen E., Christensen E., Nielsen M.:* Pulsfrefrequenz und Körperstellung. — Skand. Arch. Physiol. 81:190, 1939.
2. *Asmussen E., Nielsen M.:* Cardiac output during muscular work and its regulation. — Physiol. Rev. 35:778, 1955.
3. *Astrand P. O.:* Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, 1952.
4. *Astrand P. O.:* New records in human power. — Nature 176:922, 1955.
5. *Balke, B.:* Optimale körperliche Leistungsfähigkeit, ihre Messung und Veränderung infolge Arbeitsermüdung. — Arbeitsphysiologie 15:311, 1954.
6. *Balke B., Grillo G. P., Koneucci E. B., Luft U. C.:* Work capacity after blood donation. — J. Appl. physiol. 7:231, 1955.
7. *Barach J. H.:* The energy index. J. Am. Med. Assoc. 62:525, 1914. *Bechtholdt H.: Selection. — U Stevens S. S.:* Hand-Book of experimental psychologie, str. 1240. — New York, 1591.
9. *Ring. R. J., Heimbacker R., Falholt W.:* An estimation of residual volume of blood in the right ventricle of normal and diseassed hearts in vivo. — Am. Heart 42:483, 1951.
10. *Boas E., P., Goldschmidt R. F.:* The heart rate. — Springfield,1932.
11. *Brouha L., Graybiel A., Heath C. W.:* The step test. — Rev. Canad. Biol. 2:86, 1943.
12. *Bruce R. A., Lovejoy F. W. Jr., Pearson R., Yu P. N. G., Brothers G. B., Velasquez T.:* Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. — J. Clin. Invest. 28:1423, 1949a.
13. *Bruce R. A., Pearson R., Lovejoy F. W. Jr. Yu P. N. G.,* Brothers G. B.: Variability of respiratory and circulatory performance during standardized exercise. — J. Clin. InIvest. 28:1431, 1949b.
14. *Bruce R. A., Lovejoy F. W. Jr., Yu P. N. G., Mc Dovell M.:* Relationships availabity of oxygen to physical fitness in patients with cardio-respiratory diseases. — Prc. Soc. Exper. Biol. and Med. 73:212, 1950
15. *Bujas R., Bujas Z.:* Dobivanje psihologijskih podataka i njihovo računsko obrađivanqe. — Zagreb, 1942.
16. *Bürger M.:* Pressdruckprobe als Herzleistungsprüfung. — Arbeitsphysiologie 1:614, 1929.
17. *Buskirk E., Taylor H. L.:* Maximal oxygen intake tnd its relation to body composition. — J. Appl. Physiol. 11:72, 1957.
18. *Chailley-Bert P.:* Unification des tests cardiofonctionels dans le sport. — XIe Congres internat. de medecine sportive, Luxemburg, 1956.
19. *Christensen E. H.:* Die Pulsfrequenz und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit. — Arbeitphysiologie 4:453, 1931a.
20. *Christensen E. H.:* Minutenvolumen und Schlagvolumen des Herzens während schwerer körperlicher Arbeit. — Arbeitsphysiologie 4:470, 1931b.
21. *Christensen E. H.:* Der Stoffwechsel und die respiratorischen Funktionen bei schwerer körperlicher Arbeit. — Arbeitsphysiologie 5:463, 1932.
22. *Christensen E. H., Högberg P.:* Steady-state, 0_2 deficit and 0_2 debt at severe work. — Arbertsphysiologie 14:251, 1950
23. *Christensen E. H., Krogh A., Lindhard H.:* Investigation on heavy muscular work. — Bull. World Health Org. 3:388, 1934.
24. *Clarke H. H.:* The application of meafurement to health and physical edcation. — New York 1951.
25. *Collumbine H., Bible S. W., Wikramanayake T.* W.: Influenze of age, sex, physique and muscular development on physical fithness. — J. Appl. Phy. siol. 2:488, 1950.
26. *Cotton F. S., Dill D. B.:* On the relation between the heart rate during exercise and that of immediate post-exercise period. — Am. J. Physiol. 111: 554, 1935.
27. *Cournand A., Lequime J., Regniers P.:* Analyse physiologique des facteurs et des symptomes de l'insuffisance circulatoire chronique. — Act. cardiol. 6/4:343, 1951.
28. *Crampton* W., *Ward C.:* A test of condition. — Med. News 87:529, 1905.
29. *Cureton C. T.:* Physical fitness of champion athletes. — Urbana 1951.
30. *Dalström H.:* Basal metabolism and extracellular fluid. Acta Physiol. Scand. 21 suppl. 71, 1950.
31. *Darnall C. R.:* The Schneider indeä in health and abnormal conditions. — J. Aviation Med. 8:67, 1937.
32. *Dill D. B.:* Effects of physical strain high altitudes on the heart and circulation — Am. Heart J. 23: 441, 1942.
33 *Donald K. W., Bioshop J. M., Cummings G., Wade O. L.:* Effect of exercise on cardiac output and circulation dynamics of normal subjects — Cl. Sc. 14:37, 1955.
34. *Flack M.:* The medical problem of fluing. — The 201: 623, 1921
35. *Flack M., Burton L. H.:* An investigation into the physiological significance of the 40 mm Hg test. — J. Physiol. 56:1, 1922.
36. *Forster* W. L.: A test of physical efficiency. — Am. Physiol. Ed. Rev. 19:632, 1914.
37. *Freedman M. E., Snider G. L., Brostoff P., Kimelblot S., Katz L. N.:* Effects of training on response of cardiac output to muscular exercise in athletes. — J. Appl. Physiol. 8:37, 1955.
38. *Guilford J. P.:* Fundamental statistics in psychology and education. — New York 1950.
39. *Guilford J. P.:* Psychometric methods. — New York 1954.
40. *Guyton C. A.:* Determination of cardiac output by equating venous return curves with cardiac response curves. — Physiol. Rev. 35:123, 1955.
41. *Hamilton F. W.:* Role of the Starling concept in regulation of the normal circulation. — Physiol. Rev. 35:161, 1955.
42. *Herderson J., Haggard H. W., Dolley F. S.:* The efficiency of the hearth and the significance of rapid and slow pulse rates. — Am. J. Physiol. 82:512, 1927.
43. *Henschel A., Taylor H. L., Keys A.:* Experimental malaria in man. — J. Clin. Invest. 29:52, 1950.
44. *Herbst R.:* Der Gasstoffwechsel als Mass der körperlichen Leistungsfähigkeit. I. Die Bestimmung des Sauerstoffaufnahmevermögnis beim Gesunden. — Dtsch. Arch. Klin. Med. 162:33, 1928.
45. *Herbst R.:* Der Gasstoffwechsel als Mass der körperlcihen Leistungsfähigkeit. II. Untersuchungen an Herzkranken. — Dtsch. Arch. Klin. Med. 162:257, 1928.
46. *Hermannsen J.:* Die Ergometrische Methode als Funktionsprüfung für Herz und Lunge. — Beitr. Klin. Tuberkul. 92:395, 1938.
47. *Hermannsen J., van Uytvanck P.:* Einige Untersuchungen über die Kreislauf und Lungenleistung bei schwerer Arbeit. — Z. Exper. Med. 88:279 1933.
48. *Herxheimer H.:* Heart rate in recovery from severe exersise. — J. Appl. Physiol. 1:279. 1948.
49. *Hill A. V.,* Lupton H.:: Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. — Quart. J. Med. 16: 135, 1923.
50. *Hill A. V., Long C. N. H., Lupton H., Muscular* exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. — Proc. Roy. Soc. — 96:438. 1924.
51. *Horvat V., Medved V., Medved R.:* L'influence de certainec tendues morphologiques et de la hauter de la chaise aux resultats du »Step test«. — XIe congres international de medecine sportive. Luxembourg 1956, str. 611.
52. *Ivy A. C.:* The physiology of work. — J. Am. Med. Assoc. 118:569, 1942.
53. *Johnson R. E.:* Applied physiology. — Ann. Rev.

tate and duration of effort in relation to ability to perform strenous exercise. — Rev. Canad. Biol. 1:171, 1942.
54. *Johnson R. E., Brouha L.:* Pulse rate, blood lac-Physiol. 8:535, 1946.
55. *Johnson R. E., Brouha L., Darling R. C.:* Test of physical tifness for strenous exertion. — Rev. Canad. Biol. 1:491, 1942.
56. *Jorgensen G.:* Experimental investigation of the venous pressure (with special reference to the regulation of the circulation). — Copenhagen 1954.
57. *Karpovicw P.:* Physiology of muscular acitivity. — Philadelphia 1953.
58. *Karpovicw P. V., Weis R. A.:* Physical fitness of man entering the army air forces. — Research Quart. 17:184, 1946.
59. *Karpovich P. V., Starr M. P., Weiss R. A.:* Physical fitness tests for convalescents. — J. Am. Med. Assoc. 126:873, 1944.
60. *Karrasch K., Müller E.:* Das Verhalten der Pulsfreüuenz in der Erholungsperiode nach körperlicher Arbeit. — Arbeitsphysiologie 14:369, 1091.
61. *Katz N. L.:* Analysis of the several factors regulating the performance of the heart. — Physiol. Rev. 35:91, 1955.
62. *Keen E. N., Sloan A. W.:* The Harvard step test. — J. Appl. Physiol. 13:241, 1958.
63. *Keys AA., Henschel A., Taylor H. L., Mickelsen O., Brožek J.:* Experimental studies on man with a restricted intake of B vitamins. — Am. J. Physiol. 144:5, 1945.
64. *Kjellberg S. R., Rhude V., Sjöstrand T.:* Increase of the amount of hemoglobin and blood volume in connection with physical training. Acta Physiol. Scand. 19:146, 1949a.
65. *Kjellberg R. S., Rudhe U., Sjöstrand T.:* The amount of hemoglobin (blood volume) in relation to the pulse rate and heart volume during work. Acta Physiol. Scand. 19:152, 1949b.
66. *Knehr C. A., Dill D. B., Neufeld W.:* Training and its effects on man at rest and work. — Am. J. Physiol. 136:148, 1942.
67. *Knipping H. W.:* Ueber die Kontrolle der Herzleistugsgrenze (Grenzwert des Herzminutenvolumen) in der Klinik. — Dtsch. Med. Wchnschrt. 63:462, 1937.
68. *Knipping H. W.:* Das Verhalten des gesunden und des krnken Körpers unter Arbeit. Ergebnisse der ergometrische Untersuchungen in der Klinik. — — Klin. Wchnschrft. 17:1097, 1938.
69. *Knowlton F. P., Starling E. H.:* The influence of variations in temperature and blood pressure on the isolated mammalian heart. — J. Physiol. 44: 206, 1912.
70. *Landen H. C.:* Die funktionelle Beurteilung des Lungen und Herzkranken. — Darmstadt 1955.
71. *Lehmann G.:* Praktische Arbeitsphysiologie. — Stuttgart 1953.
72. *Lehmann G., ichaelis H.:* Die essung der Körperlichen Leistungsfähigkeit. — Arbeitsphysiologie. 11:376, 1941.
73. *Letounov S. P.:* Unification des tests cardiofonctionels dans le sport. — XIe Congres interational de medecine sportive, Luxembourg 1956, str. 158.
74. *Liljenthal J. L. Jr., Rileö R. C., Proemel D. D., Franke R. E.: An* experimental analysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise at sea-level and altitude. — AAm. J. Phösiol. 147:199, 1946.
75. *Lijenstralnd G., Lysholm E., Nylin G.:* The immediate effects of muscular work on the stroke and heart volume in man. Scand. ArAch. Physiol. 80:265, 1938.
76. *Lorenz F. H.:* Die Sportherzuntersuchung. — Leipzig 1936.
77. *Master A. M.:* The two step test of myocardial function. — Am. Heart 1:494, 1935.
78. *Master A. M., Oppenheimer E. T.:* A simple exercise tolerance test for circulation efficiency with standard tables for normal individuals. — J. Am. Med. Sc. 177:223, 1929.
79. *Maver, H., Horvat V.:* Tjelesna sposobnost vojnika pješadijske jedinice mjerena Harvardskim step-testom. Voj. San. Pregled 14:183, 1957.
80. *McCloy C. H.:* A cardio-vascular rating of »present condition«. — Arbeitsphysiologie 4:97, 1931.
81. *Morehouse L. E., Miller A. T. Jr.,* Physiology of exercise. — St. Louis 1953.
82. *Müller E.:* Ein Leistungs-Pulsindex als Mass der Leistungsfähigkeit. — Arbeitsphysiologie 14:271, 1950.
83. *Nielsen M.:* Die Respirationsarbeit bei Körperruhe und bei Muskelarbeit. — Skand. Arch. Physiol. 74:299, 1936.
84. *Nielsen M., Hansen O.:* Maximale körperliche Arbeit bei AtAmung 0_2-reicher Luft. — Scand. Arch.
85. *Nylin G.:* On amount of and change in residual blood of heart. — A. Heart. J. 25:598, 1943.
86. *Petterson S. W., Starling E. H.:* On the mechanical factors which determine the output of the ventricle. — J. Pysiol. 48:357, 1914.
87. *Petterson S. W., Piper H., Starling E. H.:* The regulation of the heart beat. — J. Physiol. 48-485, 1914.
88. *Petz B.:* Uvod u statističko računanje. — Zagreb 1958.
89. *Rhein H.:* Einführung in die physiologie des Menschen.Berling 1941.
90. *Rein H., Schneider M.:* Einführung in die Physiologie des Menschen. — Birling 1955.
91. *Reindell H.:* Kymographische und elektrokardiographische Befunde am Sporthezen. — Dtsch. Arch. Klin. Med. 131:4851 1937.
92. *Roberts T. J.:* Dynanmic and circulation of heart muscle; cardiac reserve; the cardiac cycle. u Sodeman W. — Pathologic physiology str. 48. — Philadelphia 1952.
93. *Robinson S.:* Experimental studies of physical fitness in relation to age. — Arbeitsphysiologie 10:251, 1938.
94. *Robinson S., Edwards H. T., Dill D. B.:* New records in human power. — Science 85:409, 1937.
95. *Ruschmer F. R.:* Applicability of Starling's law on the heart to intact, unanesthetized animals. — Physiol. Rev. 35:138, 1955.
96. *Rushmer R. F.:* Anatomy and physiology of ventricular function. — Physiol. Rev. 36:400, 1956.
97. *Ruschmer R. F., Thal N.:* Mechanics of ventricular contraction. — Circulation 4:219, 1951.
98. *Ryning I.:* A modified Harvard step-test for evaluation of physical fitness. Arbeitsphysiologie 15: :235, 1954.
99. *Schellong F.:* Ueber einige Vorgänge bei der Kreislaufregulation und ihre Verwertung für eine praktische Funktionprüfung. — Münch. Med. Wschrft. 11:1176, 1932.
100. *Schellong F., Lüderitz N.:* Regulationsprüfung des Kreislauf. — Darmstadt 1954.
101. *Scholender P. F.:* Analyzer for accurate estimattion of respiratory gases. — J. Biol. Chem. 167: 235, 1947.
102 *Schneider C.:* A cardiovascular rating as a measure of physical fatigue and efficiency. — J. Am. Med. Assoc. 74:1507, 1920.
103. *Shepard R.:* Effect of pulmonary diffusing capacity on exercise tolerance. — J. Appl. Physiol. 12: 487, 1958.
104. *Sjöstrand T.:* Volume and distribution of blood and their sginificance in regulation of circulation. — Physiol. Rev. 33:202, 1953.
105. *Slonim N. B., Gillespil G. D., Harold H. W.:* Peak oxygen uptake of healthy young men as determined b a treadmill method. — J. Appl. Physiol. 10: 401, 1957.
106. *Starling E. H.:* The lineare lecture on the law of the hearth.. (Cambridge 1915) New York 1918.

107. *Stead E. A., Warren J. V.:* Cardiac output in man; analysis of mechanisms varying cardiac output based on recent clinical studies. — Arch. Int. Med. 80:237, 1947.
108. *Taylor C. L.:* Some properties of maximal and submaximal exercise with reference to physiological variation and the measurement of exercise tolerance. — Am. J. Physiol. 142:200, 1944.
109. *Taylor C. L.:* Exercise. — Ann. Rev. Physiol. 7:599, 1945.
110. *Taylor C. L., Brown G. E. Jr.:* Some observation on the validity of Schneider test. — J. Aviation Med. 15:204, 1944.
111. *Taylor H. L., Buskirk E., Heschel A.:* Maximal 0_2 intake. J. AAppl. Physiol. 8:73, 1955.
112. *Taylor H. L., Henschell A., Brožek J., Keys A.:* Effects of bed rest on cardiovascular function and work performance. — J. Appl. Physiol. 2:223, 1949.
113. *Thordnike R. L.:* Personal selection. — New York 1949.
114. *Tuttle W. W.:* The use of pulse — ration test for rating physical efficiency. — Research Quart. 2:5, 1931a.
115. *Tuttle W. W.:* The response of normal heart to exercise of graded intensity. — Arbeitsphysiologie 4:519, 1931b.
116. *Vouk V.:* Statistika u medicini. — Zagreb 1956.
117. *Vračarić B., Radmili V.:* Prilog poznavanju fizičke sposobnosti naših vojnika. — Higijena 7:615, 1955.
118. *Ahlhund H.:* Determination of physical working capacity. Acta Med. Scand. Suppl. to Vol. 132, 1948.