

Miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum

Niðurstöður vöðvarafrits og taugaleiðingarannsóknna

Marínó Pétur Hafstein^{1,2}, Brjánn Á. Bjarnason³, Kristinn Tómasson³

Carpal tunnel syndrome. Results of electrodiagnostic studies

Hafstein MP, Bjarnason BÁ, Tómasson K

Læknablaðið 1996; 82: 784–94

The results of electrodiagnostic studies on 557 hands of 383 patients with the clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome (CTS) are described. History taking, examination and electrodiagnostic studies were performed by the same neurologist (MPH). The diagnostic sensitivity for the distal motor latency (DML) was 68%, while the sensitivity for the distal sensory latency (DSL) was 77% and the combined sensitivity for these parameters was 83%. With various "unconventional" studies 91% of hands were diagnosed with CTS.

From our results the cause for slowing of median motor nerve conduction velocity (m-MNCV) in the forearm seems to be both demyelination at the wrist and axonal degeneration. However, hands with denervation had more slowing of m-MNCV in the forearm than hands without denervation. Hands with clumsiness, subjective weakness, objective weakness and thenar atrophy, compared to hands without these symptoms and signs, had a higher estimate of the relative risk of abnormal DML, DSL, compound motor action potential (CMAP), compound sensory nerve action potential

(CSNAP), m-MNCV in the forearm and electromyography (EMG) on abductor pollicis brevis (APB) and from less severe to more severe motor symptoms and signs the odds ratio steadily increased for all tested parameters. Hands with Phalen's sign had more prolonged DML and abnormal EMG on APB compared to hands without Phalen's sign but other test parameters showed no difference. No difference could be found for any test parameters between hands with or without Tinel's sign, neither between hands without pain or with pain, whether in the hand or more proximally in the upper extremity, nor between hands of 150 patients with bilateral CTS who claimed one hand worse than the other. In hands with decreased pin prick, decreased touch or hyperesthesia, compared to hands with a normal sensory examination, the DML, CMAP, and EMG on APB were significantly more often abnormal but no difference was found for any of the sensory conduction test parameters. With increasing duration of symptoms there were significantly more abnormal results for all tested parameters except CMAP, especially when the symptoms had lasted for more than 10 years.

Ágrip

Lýst er niðurstöðum taugaleiðinga- og vöðvarafritsrannsókna á 557 höndum 383 sjúklinga með miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum (carpal tunnel syndrome, CTS). Næmi til þess að greina taugarfergið var 68% fyrir hreyfitaugaftöf (distal motor latency, DML), 77% fyrir skyntaugaftöf (distal sensory latency, DSL) og samanlagt næmi þessara tveggja rannsóknarþátta var 83%, en með „óhefðbundnum“ rannsóknaraðferðum greindust 91% handa með taugarfergið.

Rannsóknarniðurstöður voru metnar með tilliti til ýmissa einkenna miðtaugarþvingunar í

Frá ¹Læknastofunni Bárugötu 15, ²taugalækningadeild Landspítalans, ³geðdeild Landspítalans. Fyrirspurnir, bréfaskipti: Marínó P. Hafstein, Domus Medica, Egilsgötu 3, 101 Reykjavík.

Lykilorð: Median nerve, carpal tunnel syndrome, nerve conduction studies, clinical and electrophysiologic assessment.

úlnliðsgöngum. Í ljós kom að meiri líkur voru á óeðlilegum niðurstöðum allra þátta rannsóknanna hjá einstaklingum með klaufsku í höndum, huglægt máttleysi, hlutlægt máttleysi og rýrnun á þumalfingursbungu, miðað við þá sem voru án þessara einkenna, og að hlutfallsleg áhætta á óeðlilegum rannsóknarniðurstöðum jókst með versnandi einkennum frá hreyfitaugakerfi. Aftur á móti var enginn munur á niðurstöðum rannsókna á skyntaugum á milli handa með huglæg, hlutlæg eða engin einkenni frá skyntaugakerfinu. Samfara lengri sjúkrahöfn var marktæk aukning á óeðlilegum niðurstöðum allra þátta rannsóknanna, nema á hæð hreyfitaugasvara, en þetta samband var ekki beint.

Inngangur

Dawson og Scott lögðu líklega grunninn að nútíma taugaleiðingarannsóknum árið 1949 þegar þeir sýndu fram á að hægt væri að skrá svar frá taug með húðupptökuskauti við rafertingu (1). Simpson var þó fyrstur til þess að beita hreyfitaugaleiðingu (motor nerve conduction) í því skyni að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum (carpal tunnel syndrome, CTS) árið 1956 (2) og tveimur árum seinna lýstu Gilliatt og Sears notkun skyntaugaleiðingar (sensory nerve conduction) til þess að greina taugarfergið (3). Vöðvarafritun á sér þó lengri sögu (4).

Frá upphafi taugaleiðingarannsókna við greiningu miðtaugarfergis í úlnliðsgöngum hefur verið hefð fyrir skyntaugaleiðingu til vísifingurs og hreyfitaugaleiðingu til stutta þumalsfráfæris (abductor pollicis brevis). Þetta eru hinar „hefðbundnu“ rannsóknaraðferðir. Á síðustu árum hafa komið fram ýmsar „óhefðbundnar“ rannsóknaraðferðir til að auka næmi taugalífedlisrannsókna við greiningu miðtaugarþvingunar í úlnliðsgöngum. Til dæmis hefur skyntaugaleiðing verið gerð til annarra miðtaugarfingra en vísifingurs, hreyfi- og skyntaugaleiðing gerð á stuttum kafla um úlnliðsgöng og samanburður gerður á töf og hæðum miðtaugar við ölnartaug og sveifartaug (5–11).

Tilgangur þessarar rannsóknar er í fyrsta lagi að athuga næmi taugaleiðinga- og vöðvarafritsrannsókna til þess að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum eins og þær eru framkvæmdar af höfundum (MPH) og í öðru lagi að athuga hvort samband sé á milli rannsóknarniðurstöðna og einkenna sjúklinganna. Síðast-

nefnda atriðið hefur sjaldan verið athugað á markvissan hátt með tölfræðiaðferðum og aldrei, svo okkur sé kunnugt, á jafnmörgum sjúklingum eins og í þessari rannsókn.

Efniviður og aðferðir

Efniviður rannsóknarinnar er sami sjúklingahópur og áður hefur verið lýst með einkenni miðtaugarþvingunar í úlnliðsgöngum (12).

Eðlilegar niðurstöður fengust úr 66 höndum 46 einstaklinga á aldrinum 22–70 ára án sjúkdóma í úttaugakerfi og með eðlilega taugaskoðun. Teca TE 20 (Teca Corp. Three Campus Drive, Pleasantville, NY 10570, USA) tauga- og vöðvarafritstæki var notað við þessar rannsóknir. Bylgjusúur tækisins voru stilltar á 10 Hz og 3000 Hz fyrir skyntaugaleiðingu og 1 Hz og 10.000 Hz fyrir hreyfitaugaleiðingu og vöðvarafrit. Stöðluð yfirborðsskaut (Teca Corp. Three Campus Drive, Pleasantville, NY 10570, USA) voru notuð sem hér segir: Gormfingurskaut (járngormur sem smeygt er upp á fingurinn) fyrir skyntaugaleiðingu, 10 mm stálskaut fyrir hreyfitaugaleiðingu og 32 mm stálskaut fyrir jarðtengingu. Teca viðnámsminkandi hlaup (Teca Corp. Three Campus Drive, Pleasantville, NY 10570, USA) var borið á skautin í þunnu lagi og óhreinindi fjarlægð af húð með Omni Prep (D.O. Weaver & Co, 425 S. Cherry, Denver, CO 80222, USA). Í stöku tilfelli þurfti að fjarlægja sigg til þess að minnka viðnám húðar. Fylgst var með húðhita frá ytri hluta lófa með YSI módeli 43 hitamæli (Yellow Springs Instrument Co. Inc., Yellow Spring, OH 45387 USA) og hendur hitaðar eftir þörfum með innrauðu ljósi til þess að halda húðhita við 32–34°C meðan á rannsókn stóð. Hæð og töf taugaleiðingasvara voru mæld með næmi tækisins stillt á 20 míkróvolt (míkróV)/cm og 1 millisekúndu (msek) á einingu í skyntaugaleiðingu, 2 millivolt (mV)/cm og 2 msek á einingu í hreyfitaugaleiðingu og 100 míkróV/cm við úrlestur ístungu- og hvíldarvirkni og 1 mV/cm við úrlestur álagsvirkni með 10 msek á tímaeiningu í vöðvarafriti. Lögð var áhersla á að staðla staðsetningu húðskauta og fjarlægðir. Fjarlægðir voru mældar með sveigjanlegu stálmálbandi með úlnlið beinan og fingur beina og útglennta. Ofurerting var notuð í öllum tilfellum en áhrifa rúmmálsraf-dreifingar gætt og þau leiðrétt (13). Jarðskaut var fest á lófa eða handarbak.

Rannsókn á skyntaugum: Í skyntaugaleiðingu var virkt gormfingurupptökuskaut fest fyrir miðju á nærkjúku vísi- og litlafingurs og viðmiðunarskaut fyrir miðju á miðkjúku vísi-fingurs og ytri millikjúkulið litlafingurs. Fingurskautin voru einangruð til þess að koma í veg fyrir rafupptöku frá nærliggjandi fingrum. Við rafertingu var neikvæða ertiskautið 14 cm frá virka upptökuskautinu yfir miðtaug og ölnartaug við úlnlið, notuð var andleiðisadferð (13) í rannsókn á skyntaugaleiðingu. Byrjunartöf skyntaugasvara var að meðaltali $2,3 \pm 0,27$ msek og efri eðlileg mörk með tveimur staðalfrávikum voru 2,8 msek. Hæð (amplitude) skyntaugasvars var mæld enda í enda (13) og var að meðaltali $54,8 \pm 18,0$ mÍkróV fyrir miðtaug og $30,2 \pm 15,3$ mÍkróV fyrir ölnartaug. Lægsta gildi viðmiðunarhópsins var notað sem neðri eðlileg mörk, það er 20 mÍkróV fyrir miðtaug og 10 mÍkróV fyrir ölnartaug.

Rannsókn hreyfitauga: Í athugun á hreyfitaugaleiðingu miðtauga var virkt upptökuskaut fest á þumalfingursbungu yfir stutta þumalsfráfæri fyrir miðju á línu frá miðjum hnúafingursliði þumals að miðri ytri húðfellingingu við úlnlið. Stöku sinnum þurfti að færa upptökuskautið til þess að fá hreinan neikvæðan byrjunarfasa. Viðmiðunarskautið var fest á kjúkulið þumals. Raferting var gefin yfir miðtaug við úlnlið 5 cm frá virka upptökuskautinu og í olnbogabót yfir miðtaug. Eðlileg byrjunartöf var að meðaltali $2,82 \pm 0,40$ msek og efri eðlileg mörk með tveimur staðalfrávikum voru 3,6 msek. Hreyfitaugarleiðingarhraði miðtaugar yfir framhandlegg var að meðaltali $58,54 \pm 4,40$ m á sekúndu (M/sek) og voru neðri eðlileg mörk með tveimur staðalfrávikum 50,0 M/sek. Hæð hreyfitaugasvars miðtaugar var mæld enda í enda og var að meðaltali $17,6 \pm 5,2$ mV og neðri eðlileg mörk voru 5,0 mV við rafertingu við úlnlið.

Vöðvarafrit: Vöðvarafrit var framkvæmt með einskautsnál klæddri tefloni (Teca Corp. Three Campus Drive, Pleasantville, NY 10570, USA) nema í bláendann.

Sömu aðferðir voru notaðar í þessari rannsókn með einni undantekningu þó: Fyrstu þrjú ár rannsóknarinnar var LBM- Neurodiagnostic tæki (Neurodiagnostic, 111 West Dyer Road, Santa Ana, CA 92707, USA) notað, en það hefur innbyggðar síustillingar, 20–3500 Hz og 10.000 Hz, og seinni árin var Quantum 84 (Cadwell, Kellogg Street, Kennewick, WA

99336, USA) tauga- og vöðvarafritstæki notað og var þá síustillingum beitt eins og fyrst var lýst.

Hjá öllum sjúklingum var skyntaugaleiðing til vísifingurs og hreyfitaugaleiðing til stutta þumalsfráfæris gerð á miðtaug, skyntaugaleiðing á ölnartaug til litlafingurs og vöðvarafrit á stutta þumalsfráfæri og fyrsta aftari millibeinavöðva. Ef einkenni sjúklings og/eða niðurstöður fyrrgreindra rannsókna útheimtu voru aðrar taugar og aðrir vöðvar rannsakaðir.

Viðmiðunargildin sem notuð voru í þessari rannsókn fengust úr annarri athugun á rannsóknarstofu þar sem einn höfunda (MPH) starfaði á námsárum sínum, en þar var gerð tilraun til þess að auka næmi taugaleiðingarannsóknna með því að staðla ýmsa utanaðkomandi þætti. Niðurstaða þessarar síðastnefndu rannsóknar líkist meðalgildum og staðalfrávikum annarra rannsókna (5–8,14) þar sem svipuð tækni er notuð.

Ýmsar „ðhefðbundnar“ rannsóknaraðferðir voru notaðar (tafla I, skýringar). Fylgt var tæknilegri útfærslu og eðlilegum niðurstöðum annarra rannsókna (5–8). Framkvæmd þeirra var þó ekki nógu markviss til þess að hægt væri að athuga næmi einstakra aðferða og við athugun á sambandi á milli rannsóknarþátta og niðurstaðna og einkenna sjúklinganna var stuðst við niðurstöður „hefðbundinna“ rannsóknaraðferða.

Pegar Martin-Gruber taugatenging (9) fannst voru hæð hreyfitaugasvars og hreyfitaugaleiðingarhraði miðtaugar um framhandlegg hvorki tekin með í túlkun á heildarniðurstöðum né til samanburðar.

Rannsóknirnar voru í öllum tilfellum framkvæmdar og túlkaðar af sama höfundi (MPH).

Við tölfræðilega úrvinnslu gagna var stuðst við kí-kvaðratspróf við útreikninga á hlutfallstölum og t-próf við útreikninga á meðaltölum. Reiknað var áhættuhlutfall (odds ratio) fyrir niðurstöður á töflu V.

Niðurstöður

Tafla I sýnir samantekt á niðurstöðum taugaleiðinga- og vöðvarafritsrannsókna.

Hreyfitaugaleiðing miðtauga: Raferting við úlnlið gaf svörun í 553 af 557 höndum. Fjærtöf í þessum höndum var að meðaltali $4,5 \pm 1,5$ msek ($P < 0,0001$ miðað við eðlilegt gildi $2,8 \pm 0,40$ msek), frá 2,3 msek til 11,5 msek. Fjærtöf var eðlileg í 178 höndum, að meðaltali

Table I. Results of electrodiagnostic studies in 557 symptomatic hands of 383 patients with carpal tunnel syndrome.

	Distal latency (msec)		Amplitude ^{a)}		m-MNCV ^{b)}		Abnormality combined		Sensitivity		
	Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	Hands	%	%		
	≤ 3.6	> 3.6	NR ^{c)}	≥ 5	< 5	≥ 50 M/sec	< 50 M/sec				
Median motor nerve conduction (hands)	178	375	4	345	193	429	101	424	76	68	
	≤ 2.8	> 2.8	NR	≥ 20	< 20						83
Sensory nerve conduction to digit II. (hands)	128	364	65	243	314			449	80.6	77	91
Unconventional studies (d)								42/95	—	—	
	Normal	Fibrillations and positive sharp waves		Abnormal recruitment and/or motor unit potential configuration							
Electro-myography on abductor pollicis brevis (hands)	272	163		257				282	50.9	—	—

a): Millivolt (mV) for motor and microvolt (microV) for sensory. b): median motor nerve conduction velocity in forearm. c): no respond. d): > 2.8 msec sensory latency to digit III in 12 hands, ≥ 0.4 msec longer sensory latency for median than ulnar nerve to digit IV in 10 hands, > 1.8 msec sensory latency over 8 cm distance through carpal tunnel in 4 hands, ≥ 0.4 msec longer sensory latency to digit II compared to digit V in 15 hands and in one instance > 1.0 msec longer median motor distal latency compared to the asymptomatic hand while median sensory latency to digit II and median motor distal latency were normal.

3,2±0,3 msek. Auk fjögurra handa sem gáfu enga svörun við úlnliðsrafertingu var hreyfitaugafjærtöf óeðlileg í 68% handa.

Martin-Gruber taugatenging fannst í 19 höndum 16 einstaklinga. Hæð hreyfitaugasvara í 534 höndum við úlnliðsrafertingu var að meðaltali 7,1±4,4 mV (P<0,0001 miðað við eðlilegt gildi 17,6±5,2 mV), frá 0,2 mV til 23,0 mV. Hæð hreyfitaugasvars undir 5,0 mV fannst í 189 höndum, þar af í 30 höndum með eðlilega hreyfitaugafjærtöf. Að undanskildum 19 höndum með Martin-Gruber taugatengingu, fjórum höndum með enga svörun við úlnliðsrafertingu og fjórum höndum án svörunar við rafertingu í olnbogabót, voru 530 hendur með skráðan hreyfitaugaleiðingarhraða miðtaugar um framhandlegg, sem var að meðaltali 53,9±6,1 M/sek (P<0,0001 miðað við eðlilegt gildi 58,54±4,40 M/sek), frá 70,5 M/sek að 19,0 M/sek. Eitt hundrað og ein hönd (19%) hafði seinkun á hreyfitaugaleiðingarhraða miðtaugar um framhandlegg eða undir 50,0 M/sek, að meðaltali 45,0±5,1 M/sek.

Hægur hreyfitaugaleiðingarhraði miðtaugar um framhandlegg var í 10 höndum með eðlilega hreyfitaugafjærtöf og hæð svara.

Skyntaugaleiðing miðtauga til vísifingurs: Í þeim 492 höndum sem gáfu svörun var skyntaugatöf að meðaltali 3,4±0,8 msek (P<0,0001 miðað við eðlilegt gildi 2,3±0,27 msek), frá 2,0 msek til 10,0 msek. Í 128 höndum var skyntaugatöf eðlileg, að meðaltali 2,6±0,2 msek. Skyntaugatöf var óeðlileg í 77% handa að viðbættum höndum sem gáfu engin svör. Hæð skyntaugasvara í 492 höndum var að meðaltali 23,6± 6,7 míkróV (P<0,0001 miðað við eðlilegt gildi 54,8±18,0 míkróV). Í 249 höndum var hæð svara lág eða undir 20 míkróV en einungis í 20 höndum með eðlilega skyntaugatöf var hæð svara undir 20 míkróV.

Í 34 af 128 höndum með eðlilega skyntaugatöf miðtaugar til vísifingurs var lengd hreyfitaugafjærtöf, yfir 3,6 msek, og af 178 höndum með eðlilega hreyfitaugafjærtöf miðtaugar reyndust 83 (47%) með lengda skyntaugatöf miðtaugar, yfir 2,8 msek.

Vöðvarafrit á stutta þumalsfráfæri: Vöðvarafrit var eðlilegt í 272 höndum af 554 (tveir einstaklingar neituðu að láta stinga sig með nál). Aukin hvíldarvirkni (bráð aftaugamerki) ein sér var í 25 höndum. Óeðlilegt álagsrit (13) eitt sér, það er að segja minnkuð söfnun, minnkað víxlunarmynstur og/eða óeðlileg lög-un hreyfieiningabylgna, fannst í 119 höndum. Níu hendur með eðlilega skyntaugaleiðingu til vísifingurs og hreyfitaugaleiðingu til stutta þumalsfráfæris sýndu óeðlilegt vöðvarafrit, fimm vöðvar voru með aukna hvíldarvirkni og fjórir með aukna hvíldarvirkni og óeðlilega álagsvirkni. Með „óhefðbundnum“ rannsóknaraðferðum fengust hins vegar óeðlilegar niðurstöður í öllum níu tilvikunum.

Skyntaugaleiðing ölnartauga: Skyntaugatöf ölnartauga í 557 höndum var að meðaltali $2,6 \pm 0,2$ msek og voru 68 hendur með lengda töf, eða yfir 2,8 msek, að meðaltali $3,0 \pm 0,2$ msek. Skyntaugasvar ölnartauga var að meðaltali $29,5 \pm 17,1$ míkróV og voru 37 hendur með hæð svara undir 10 míkróV, að meðaltali $7,2 \pm 2,0$ míkróV. Vöðvarafrit á fyrsta aftari millibeina-

vöðva var eðlilegt í öllum tilvikum. Hendur með lengda skyntaugatöf ölnartaugar, samanborið við hendur með eðlilega skyntaugatöf ölnartaugar, höfðu marktækt lengri hreyfitaugafjærtöf miðtaugar ($P < 0,0001$) og skyntaugatöf miðtaugar ($P < 0,0001$) ásamt óeðlilegu vöðvarafriti á stutta þumalsfráfæri ($P < 0,0001$). Í höndum sjúklinga, sem kvörtuðu um dofa í öllum fimm fingrum (12), reyndist skyntaugaleiðing ölnartaugar ekki marktækt óeðlilegri en hjá sjúklingum sem ekki kvörtuðu um slíkt.

„Óhefðbundnar“ rannsóknaraðferðir: Í 95 höndum var ekki hægt að greina miðtaugarfergi í úlnliðsgöngum þegar rannsóknirnar voru framkvæmdar og túlkaðar á „hefðbundinn“ hátt. Með „óhefðbundnum“ rannsóknnum greindust 42 hendur sem að öðru leyti voru eðlilegar (tafla I, skýringar).

Eðlilegar niðurstöður fengust í 53 höndum 45 einstaklinga. Einkenni taugarfergisins fundust í báðum höndum 20 einstaklinga. Hjá átta þeirra var rannsóknin eðlileg í báðum höndum en hjá 12 í annarri hendi. „Hefðbundin“ rann-

Table II. Electromyographic results on abductor pollicis brevis muscle compared with various other parameters of electrophysiological studies on the median nerve.

	Electromyography on abductor pollicis brevis		
	Normal	Abnormal	
Motor distal latency			
Mean \pm SD	3.7 \pm 0.7 msec (272 hands)	5.3 \pm 1.6 msec (278 hands)	P < 0.0001
Compound motor action potential			
Mean \pm SD	8.6 \pm 4.5 mV (265 hands)	5.7 \pm 3.9 mV (262 hands)	P < 0.0001
Motor nerve conduction velocity in forearm			
\geq 50.0 (mean \pm SD)	56.4 \pm 3.9 M/sec (233 hands)	55.6 \pm 4.2 M/sec (190 hands)	P = 0.08
< 50.0 (mean \pm SD)	46.9 \pm 2.6 M/sec (29 hands)	44.2 \pm 5.6 M/sec (72 hands)	P < 0.041
Sensory distal latency			
Mean \pm SD	3.0 \pm 0.5 msec (268 hands)	3.7 \pm 0.9 msec (221 hands)	P < 0.0001
Compound sensory nerve action potential			
Mean \pm SD (microV)	29.2 \pm 17.0 (268 hands)	15.7 \pm 12.4 (221 hands)	P < 0.0001

Statistical analysis was performed by t- test for comparison of means.

Table III. Median motor nerve conduction velocity in forearm compared with other parameters of median nerve electrodiagnostic studies.

	Median motor nerve conduction velocity between elbow and wrist		
	≥ 50 M/sec	< 50 M/sec	
Motor distal latency			
Mean ± SD	4.2 ± 1.2 msec (429 hands)	5.6 ± 1.9 msec (101 hands)	P < 0.0001
Compound motor action potential			
Mean ± SD	7.5 ± 4.4 mV (429 hands)	5.5 ± 4.4 mV (101 hands)	P = 0.0045
EMG on APB^{a)}			
Normal	236	29	P < 0.0001
Acute and acute/chronic denervation	84	51	
Acute denervation	22	2	
Abnormal voluntary activity ^{b)}	86	25	
Sensory distal latency			
Mean ± SD	3.2 ± 0.7 msec (404 hands)	3.8 ± 0.7 msec (66 hands)	P = 0.00034
Compound sensory nerve action potential			
Mean ± SD (microV)	25.1 ± 17.0 (404 hands)	12.5 ± 10.2 (66 hands)	P = 0.0006

a) : Electromyography on abductor pollicis brevis muscle. b): Abnormal recruitment with or without abnormal motor units potentials. Statistical analyses were performed by chi-squared test for comparison of proportions and t-test for comparison of means.

sókn sýndi taugarfergi í átta höndum og „óhefðbundin“ rannsókn í fjórum höndum hjá þessum 12 einstaklingum.

Samband einstakra þátta rannsóknarniðurstaðna: Í höndum með svörun reyndist mjög góð fylgni á milli hreyfi- og skyntaugatafar ($r=0,73$), góð fylgni á milli fjærtafar hreyfitauga og hæðar hreyfitaugasvara ($r=-0,46$) annars vegar og skyntaugatafar og hæðar skyntaugasvara ($r=-0,55$) hins vegar. Í öllum tilfellum var tölfræðileg prófun marktæk ($P<0,0001$).

Í höndum með óeðlilegt vöðvarafrit á stutta þumalsfráfæri voru niðurstöður annarra athugaðra þátta rannsóknanna marktækt óeðlilegri nema í höndum með eðlilega hreyfitaugaleiðingu miðtaugar um framhandlegg (tafla II). Í höndum þar sem vöðvarafrit var eðlilegt reyndist hreyfitaugafjærtöf einnig eðlileg í 51,8% handa og skyntaugatöf eðlileg í 39,7% borið saman við hendur þar sem vöðvarafrit var óeðlilegt, en þar reyndist eðlilega hreyfitaugafjærtöf í 12,4% handa ($P<0,0001$) og eðlileg skyntaugatöf í 6,3% ($P<0,0001$).

Í höndum með seinkaðan hreyfitaugaleið-

ingarhraða miðtaugar um framhandlegg reyndist oftast lengd hreyfitaugafjærtöf ($P<0,0001$) og lengd skyntaugatöf ($P<0,0001$) auk óeðlilegra niðurstaðna varðandi alla aðra þætti rannsóknanna, bæði þeirra sem endurspeglar að mestu afmýlingu og hinna sem endurspeglar að mestu öxulhrörnun (tafla III). Þó reyndist eðlileg hreyfitaugafjærtöf í 9,5% handa og eðlilegt vöðvarafrit á stutta þumalsfráfæri í 27,6% handa, þótt hreyfitaugaleiðingarhraði um framhandlegg væri seinkaður. Í töflu III eru niðurstöður vöðvarafrits flokkaðar til þess að fá fjölda handa með aftaugamerki. Bráð aftaugamerki ein sér (acute denervation) eru tákni um skammt komna öxulhrörnun en séu bráða aftaugamerki samfara óeðlilegu álagsriti (acute/chronic denervation) er slíkt merki um langvarandi öxulhrörnun.

Samband einkenna og rannsóknarniðurstaðna: Hendur með miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum voru flokkaðar með tilliti til hinna ýmsu einkenna og hendur með og án þessara einkenna voru bornar saman við niðurstöður mælinga í rannsókninni.

Í töflu IV sést að eftir því sem einkenni hafa

Table IV. Results of electrodiagnostic studies presented as percent abnormal in various time periods in 503 symptomatic hands with carpal tunnel syndrome with known duration of symptoms.

	m-DML ¹⁾ Abnormal (%)	m-CMAP ²⁾ Abnormal (%)	m-MNCV ³⁾ Abnormal (%)	EMG-APB ⁴⁾ Abnormal (%)	m-DSL to digit II ⁵⁾ Abnormal (%)	m-CSNAP ⁶⁾ Abnormal (%)
Duration of symptoms						
< 3 months	55	38	15	40	69	40
3-12 months	67	33	14	51	76	67
12-60 months	68	36	22	48	70	52
60-120 months	66	38	14	53	77	52
> 120 months	85	38	27	72	91	74
	P= 0.0002	P= 0.95	P= 0.0014	P= 0.0001	P= 0.0012	P= 0.0001

¹⁾Median nerve distal motor latency, ²⁾Median nerve compound motor action potential, ³⁾Median motor nerve conduction velocity in forearm, ⁴⁾Electromyography on abductor pollicis brevis muscle, ⁵⁾Median nerve distal sensory latency and ⁶⁾Median nerve compound sensory nerve action potential. Statistical analysis were performed by chi-squared for comparison of proportions.

Table V. Results of electrodiagnostic studies compared between hands with and without motor symptoms and signs and with increasing severity of subjective and objective motor performance in 557 hands with carpal tunnel syndrome.

	m-DML ¹⁾ Mean± SD (msec)	m-CMAP ²⁾ Abnormal (%)	m-MNCV ³⁾ Abnormal (%)	EMG-APB ⁴⁾ Abnormal (%)	m-DSL to digit II ⁵⁾ msec± SD (msec)	m-CSNAP ⁶⁾ Abnormal (%)
Hand clumsiness						
Yes	4.9± 1.6 (n 243) P< 0.0001	43 * OR: 1.7	26 OR: 1.9	63 OR: 2.4	3.5± 1.0 (n 207) P< 0.0001	62 OR: 1.5
No	4.2± 1.3 (n 302)	30	15	41	3.2± 0.6 (n 281)	52
Subjective weakness						
Yes	5.4± 1.6 (n 100) P< 0.0001	62 OR: 3.8	34 OR: 2.6	78 OR: 4.3	3.9± 1.3 (n 73) P< 0.0001	74 OR: 2.6
No	4.3± 1.4 (n 445)	30	17	45	3.3± 0.7 (n 411)	52
Objective weakness						
Yes	5.8± 1.8 (n 70) P< 0.0001	77 OR: 7.8	44 OR: 4.1	89 OR: 9.7	4.2± 1.5 (n 46) P< 0.0001	86 OR: 5.9
No	4.3± 1.3 (n 476)	30	16	46	3.3± 0.6 (n 439)	52
Thenar atrophy						
Yes	6.1± 1.8 (n 56) P< 0.0001	83 OR: 11.3	55 OR: 6.7	95 OR: 21.5	4.4± 1.7 (n 32) P< 0.0001	93 OR: 9.9
No	4.3± 1.3 (n 490)	30	16	46	3.3± 0.6 (n 453)	52

1, 2, 3, 4, 5 and 6: see foot note in table IV. *OD: odds ratio. Statistical analysis was performed by t- test for means.

staðið lengur reynast marktækt fleiri hendur eðlilegar varðandi alla athugaða þætti rannsóknanna, nema hæð hreyfitaugasvara. Sambandið er ekki beint því rannsóknarniðurstöður eru nokkuð líkar hafi einkenni varað frá þremur mánuðum til 10 ára. Hvað varðar hendur sem hafa haft einkenni skemur en þrjá mánuði var hreyfitaugafjærtöf að meðaltali 4,0±1,1 msek og skyntaugatöf að meðaltali

3,1± 0,5 msek samanborið við 5,2±1,7 msek (P<0,0001) fyrir hreyfitaugafjærtöf og 3,9±1,3 msek (P<0,0001) fyrir skyntaugatöf í höndum þar sem einkenni höfðu varað í 10 ár eða lengur. Eftir 10 ár reyndust þó 15% handa með eðlilega hreyfitaugafjærtöf og 9% með eðlilega skyntaugatöf (tafla IV).

Höndum sjúklinga, sem kvörtuðu um klaufsku eða máttleysi og þar sem rýrnun á

þumalfingursbundu eða vöðvamáttleysi fannst við skoðun, er hlutfallslega hættar við óeðlilegum niðurstöðum í öllum rannsóknarþáttum, eykst áhættan samfara verri einkennum í hreyfitaugakerfinu, en enginn munur kom fram í höndum án þessara einkenna (tafla V).

Enginn munur var á niðurstöðum neinna þátta rannsóknanna á milli handa með eða án verkja, hvort sem verkurinn var bundinn við höndina eina eða staðsettur ofar.

Varðandi skynskoðun var marktækur munur á niðurstöðum, þannig að hendur með minnkað snerti- og sársaukaskyn voru með óeðlilegri niðurstöður en hendur með eðlilega skynskoðun hvað varðar hreyfitaugafjærtöf ($P < 0,0001$), hæð hreyfitaugasvara ($P = 0,0074$) og fjölda handa með óeðlilegt vöðvarafrit ($P < 0,0001$) en ekki hvað varðar aðra þætti rannsóknanna einkum skyntaugaleiðingar. Enginn munur var á niðurstöðum í höndum með minnkað skyn og með ofurskyn. Hlutfallslega jafn margar hendur með annars vegar eðlilega og hins vegar óeðlilega skynskoðun reyndust með eðlilega skyntaugatöf ($P = 0,3561$) en óeðlileg hæð skyntaugasvara miðtaugar var nærri tvöfalt algengari við óeðlilega skynskoðun ($P = 0,0086$). Athyglisvert er að í 14 höndum með eðlilega skynskoðun reyndist engin skyntaugasvörun, slíkt var þó algengara í höndum með óeðlilega skynskoðun ($P = 0,0077$).

Við prófanir til þess að framkalla einkenni sýndu hendur með Tinels tákn aukna hreyfitaugafjærtöf ($P = 0,0003$) og hendur með Phalens tákn höfðu oftast óeðlilegt vöðvarafrit ($P < 0,0001$).

Hjá 150 sjúklingum með miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum í báðum höndum, sem sögðu aðra höndina verri, fannst enginn marktækur munur á rannsóknarniðurstöðum.

Umraeda

Ekki er hægt að nota lága hæð skyn- og hreyfitaugasvars miðtaugar, seinkaðan hreyfitaugaleiðingahraða miðtaugar um framhandlegg og/eða óeðlilegt vöðvarafrit á stutta þumalsfráfæri til þess að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum þar sem aðrar meinsendir geta orsakað slíkt, en þessir þættir sýna taugaskaðann. Staðbundin seinkun á skyn- og eða hreyfitaugaleiðingu miðtaugar um úlnliðsgöng greinir hins vegar taugarfergið.

Næmi „hefðbundinna“ aðferða til þess að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum, í rannsóknum sem ná til mikils fjölda sjúklinga þar sem beitt er sömu túlkunaraðferðum og hér, hefur verið frá 39–66% fyrir hreyfitaugaleiðingu, 73–92% fyrir skyntaugaleiðingu og 73–96% fyrir þessar aðferðir saman (9,15–17). Í öllum rannsóknunum, að okkar meðtalinni, var skyntaugatöf næmari en hreyfitaugatöf til þess að greina taugarfergið, og í rannsókn þar sem athugað var næmi allra þátta miðtaugarannsóknna til þess að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum var skyntaugatöf næmest og því næst hreyfitaugafjærtöf (18). Í rannsókn okkar var hreyfitaugafjærtöf óvenju áreiðanleg til greiningar taugarfergis samanborið við aðrar rannsóknir (9,15–17) og í 6% tilvika var hreyfitaugafjærtöf lengd þar sem skyntaugatöf var eðlileg, en í öðrum rannsóknum hefur það reynst óþekkt (15) eða mjög fátítt (1–2%) (9,16). Ástæðan fyrir þessum mun er hugsanlega sú að í okkar rannsókn er hreyfitaugafjærtöf mæld á styttra svæði en hjá öðrum þar sem fjarlægðin var 6–8 sm (6,9,15,17). Taugaleiðingarseinkun frá staðbundinni afmýldri taugaskemmd getur jafnast út sé rannsókin gerð að mestu um eðlilega taug.

Hreyfitaug miðtaugar til þumalfingursbundu liggur venjulega í eigin göngum inni í úlnliðsþverbandinu (19). Ef til vill er þetta líffærafræðileg orsök þess ósamræmis sem fram kom í okkar rannsókn og annarra á næmi hreyfi- og skyntaugatafar til þess að greina taugarfergið. Þó reyndist góð fylgni milli hreyfi- og skyntaugatafar í okkur rannsókn eins og lýst hefur verið áður (10,11,17,18), þótt aðrir hafi ekki fundið slíkt (20).

Með „óhefðbundnum“ rannsóknaraðferðum var heildarnæmi rannsóknarinnar hjá okkur 91% (tafla I).

Erfitt er að bera niðurstöður á hæðum svara saman við aðrar rannsóknir. Margir mæla hæð svara út frá neikvæða hluta svarsins (6,15,17) og neðri eðlileg mörk eru oft illa skilgreind vegna þess að hæðir hreyfi- og skyntaugasvara hafa ekki eðlilega dreifingu (11,15). Í rannsókn þar sem notað var meðaltal með tveimur staðalfrávikum sem neðri eðlileg mörk voru all flestar hendur með taugarfergið með eðlilega hæð (18). Í okkar rannsókn var góð fylgni á milli hæðar og tafar svara eins og áður hefur verið lýst (17) þótt aðrir hafa ekki fundið slíkt (20).

Fjöldi handa með óeðlilegt vöðvarafrit var svipaður og í öðrum rannsóknum (9,15,17). Eins og sést á töflu II eru aðrir þættir rannsóknanna marktækt óeðlilegri í höndum með óeðlilegt vöðvarafrit miðað við hendur með eðlilega nálarannsókn. Þetta hefur komið fram hjá öðrum (10,15,21) og stafar af því að bráða aftaugamerki og lengra gengin (krónísk) aftaugamerki endurspeglar fækkun á hreyfitaugaþráðum vegna Wallers öxulhrönnunar.

Taugaleiðingarhraði miðtaugar er oft seinkaður í lófa þegar „hefðbundnar“ rannsóknir eru verulega óeðlilegar og er ástæðan minna þvermál stærri taugaþráða og/eða Wallers öxulhrönnun (22). Orsök fyrir seinkun á hreyfitaugaleiðingarhraða miðtaugar um framhandlegg, sem reyndist í 19% handa, er óljós (15). Þessu hefur þó margsinnis verið lýst samfara miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum í 11–23% handa (9,15–17). Mikilvægt er hafa þetta í huga þannig að seinkaður hreyfitaugaleiðingarhraði miðtaugar í framhandlegg í miðtaugarfergi í úlnliðsgöngum verði ekki túlkaður sem skemmd ofar á miðtaug.

Taugaleiðingar- og vefjarannsókn á miðtaugum naggrísa, sem hafa tilhneigingu til taugarfergis með aldrinum, sýndi öxulhrönnun í miðtaug hátt uppi í framlími dýranna með fækkun á stórum mýldum taugaþráðum, ef Wallers öxulhrönnun var til staðar en ekki ef um hreina afmýlingu var að ræða (23). Niðurstaða rannsóknar á taugaleiðingarhraða um framhandlegg án þess að reikna fjærtöfina með var sú að þótt öxulhrönnun ætti sér stað í framhandlegg stafaði seinkun á taugaleiðingarhraða um framhandlegg af staðbundinni afmýlingu á stórum taugaþráðum í taugarferginu (24). Bæði Wallers öxulhrönnun og afmýling á stórum mýldum taugaþráðum valda því að taugaleiðingin mælist frá smærri taugaþráðum sem leiða hægar. Marktæk lenging á hreyfitaugafjærtöf í höndum með hreyfitaugaleiðingarhraða um framhandlegg undir 50 M/sek og eðlilegt vöðvarafrit og eðlileg hreyfitaugafjærtöf í höndum með seinkaðan hreyfitaugaleiðingarhraða benda til þess að staðbundin afmýling og öxulhrönnun eigi hvor tveggja þátt í því að seinka taugaleiðingarhraðanum um framhandlegg (tafla III). Öxulhrönnun virðist þó seinka hreyfitaugaleiðingarhraðanum meira en afmýling (tafla II).

Samband einkenna og rannsóknarniðurstaðna: Tiltölulega gott samband er á milli

taugameinsemdar og -rannsóknar á kálfataug í ýmsum fjöltaugakvillum (25). Birst hafa niðurstöður einnar rannsóknar um vefjaskoðun á miðtaugum einstaklings með miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum þar sem taugaleiðing var framkvæmd fyrir andlát (26). Taugin frá hendinni þar sem langvarandi, verulegs vöðvamáttleysis, vöðvarýrnunar og skyntaps gætti hafði lengda hreyfitaugafjærtöf og marktækt meiri vefjaskemmd heldur en taugin frá hendinni með væg skammtíma einkenni og eðlilega hreyfitaugaleiðingu (26).

Meginniðurstaða okkar á sambandi einkenna og rannsóknarniðurstaðna er eftirfarandi: Sé um truflanir í hreyfitaugakerfinu að ræða í miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum, hvort sem þær eru hug- eða hlutlægar, er líklegt að niðurstöður taugaleiðingar- og vöðvarafritsrannsókna reynist óeðlilegar og jafnvel þótt sjúklingurinn þjáist af verulegum verk og skynskoðun sé óeðlileg geta niðurstöður skyntaugaleiðingar verið eðlilegar. Eftir því sem einkenni hafa varað lengur aukast líkur á óeðlilegum niðurstöðum.

Niðurstöður annarra rannsókna styðja þessar niðurstöður að verulegu leyti (10,21,27). Eftir ítarlega leit fundust aðeins þrjár rannsóknir þar sem tölfræðiaðferðum var beitt við athugun á sambandi einkenna og rannsóknarniðurstaðna (10,21,27), en þar voru færri hendur athugaðar, eða 320 (10,21,27) samanborið við 557 hjá okkur og aðeins ein rannsókn (21) tók til jafn margra rannsóknarþátta og einkenna og okkar. Ekkert samband var á milli rannsóknarniðurstaðna og verkjar, -pínudofa og nætureinkenna; einkenna sem koma í köstum af völdum miðtaugarþvingunar í úlnliðsgöngum (10,21,27). Ekkert samband fannst á milli einstakra þátta rannsókna og skynskoðunar (21) né Tinels tákns (10,21), en í einni rannsókn var samband milli seinkaðrar skyntaugaleiðingar og Phalens tákns (10). Marktækt samband fannst á milli allra þátta rannsókna og vöðvamáttleysis og vöðvarýrnunar og flestra þátta rannsókna væri um að ræða huglægt máttleysi (21). Að því er varðar tímalengd einkenna fannst ekkert samband við skyntaugaleiðingu (10), hugsanlegt samband við enga skyntaugasvörun (21) og marktækt samband við hreyfitaugafjærtöf og samband, þó ekki marktækt, við skyntaugatöf (27), ólíkt því sem var í okkar rannsókn. Í einni rannsókn þar sem þetta var athugað fannst lengri skyn-

og hreyfitaugatöf hjá ríkjandi hendi miðað við víkjandi hönd (27).

Hreyfitaugaleiðing og vöðvarafrit mæla stóra mýlda hreyfitaugaþræði og vöðvafrumur, sem eru undirstöðupættir hreyfitaugakerfisins í úttaugakerfinu, þess vegna er vel skiljanlegt að starfstruflun í hreyfitaugakerfinu endurspeglar í rannsóknarniðurstöðum. Orsökir fyrir sambandsleysi sem ríkir milli skynskoðunar og skyntaugaleiðingar gæti í fyrsta lagi verið að meirihluti stórra mýldra skyntaugaþræða í hendi eru djúptaugar sem snerta húðskyn ekkert og í öðru lagi að sársaukaskyn og að hluta til snertiskyn berast með smáum, oft ómýldum taugaþráðum (28), sem þessi rannsóknaraðferð nær ekki til. Ýmsar orsakir gætu verið fyrir sambandsleysi verkjar og pínudofa við niðurstöður skyntaugarannsóknna. Í fyrsta lagi er líklegt að orsök verkjar og pínudofa í miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum sé vegna blóðrennslistruflana inni í tauginni (26) og í öðru lagi er hugsanlegt að orsök verkjar og pínudofa sé skemmd í litlum, ómýldum taugaþráðum sem flytja sársaukaskyn (29,30). Líklega dæma sjúklingar hvor höndin sé verri samkvæmt verk og/eða pínudofa og þetta er eflaust skýringin á því að enginn munur var á rannsóknarniðurstöðum milli verri og betri handar.

Vægri truflun á skyntaugaleiðingu ölnartaugar hefur margsinnis verið lýst í tengslum við miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum (9,11). Niðurstöður okkar benda til þess að samband sé á milli óeðlilegar skyntaugaleiðingar ölnartaugar og miðtaugarskemmdarinnar í miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum. Ekki er vitað hvort meinsemdin vær til ölnartaugar. Ekki er hægt að draga neina ályktun út frá niðurstöðum okkar um orsök huglægra skyntuflana í öllum fimm fingrum, sem við höfum áður lýst (12).

Lokaorð

Taugaleiðingarannsókn er eina hlutlæga aðferðin til þess að greina miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum þar sem aðferðir til að framkalla einkenni eru ekki áreiðanlegar (12) og vegna þess að kvartanir og einkenni geta verið mjög ósérkennandi fyrir taugarfergið (12) er taugaleiðingarannsókn oft eina leiðin til þess að greina taugarfergið. Auk þess er gagnlegt að hafa rannsóknarniðurstöður fyrir aðgerð, jafnvel þó einkenni séu sérkennandi, ef einkenni skyldu ekki lagast við aðgerð og athuga þyrfti hvort taugin sé enn í þvingun.

Næmi rannsóknarinnar, eins og hún er framkvæmd hjá okkur, er allgóð og sýnt hefur verið að sérhæfni hennar er mjög mikil eða 95–99% fyrir hreyfitaugafjærtöf og 97,5–100% fyrir „hefðbundna“ skyntaugaleiðingu (31).

Þakkir

Við viljum þakka öllum þeim kollegum sem vísuðu sjúklingum til greiningar og meðferðar og gerðu þessa rannsókn þar með mögulega, starfsfólki lækisfræðibókasafns Landspítalans fyrir leit að heimildum, Rakel E. Jónsdóttur fyrir ritvinnslu og síðast en ekki síst dr. Jóni Skaptasyni fyrir yfirlestur greinarinnar.

Styrkur úr starfslaunasjóði sjúkrahúslækna gerði þessa rannsókn mögulega.

HEIMILDIR

1. Dawson GD, Scott JW. The recording of nerve action potential through skin in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1949; 11: 259–67.
2. Simpson JA. Electrical signs in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1956; 19: 275–80.
3. Gilliatt RW, Sears TA. Sensory nerve action potentials in patients with peripheral nerve lesions. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1958; 21: 109–18.
4. One hundred years of research in neuromyography in man: 1869–1969. A historical reprint. Dedicated to the 1969 annual meeting in San Diego. International Federation of Electromyography and Clinical Neurophysiology. *AAEE Bulletin* 1969; 15–16: 1–80.
5. Benedetto DM, Mitz M, Klingbeil GE, Davidoff D. New criteria for sensory nerve conduction especially useful in diagnosing carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 1986; 67: 586–9.
6. Jackson DA, Clifford JC. Electrodiagnosis of mild carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70: 199–204.
7. Uncini A, Lange DJ, Solomon M, Soliven B, Meer J, Lovelace RE. Ring finger testing in carpal tunnel syndrome: a comparative study of diagnostic utility. *Muscle & Nerve* 1987; 12: 735–41.
8. Felsenthal G. Median and ulnar distal motor and sensory latencies in the same normal subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 1977; 58: 297–302.
9. Stevens CJ. AAEE minimonograph: the electrodiagnosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve* 1987; 2: 99–133.
10. Seror P. A La Recherche D'une Corrélation Electro-Clinique Au Cours Du Syndrome Du Canal Carpien. *Revue du Rhumatisme* 1987; 54: 643–8.
11. Cioni R, Passero S, Paradiso C, Giannini F, Battistini N, Rushworth G. Diagnostic specificity of sensory and motor nerve conduction variables in early detection of carpal tunnel syndrome. *J Neurol* 1989; 236: 208–13.
12. Hafstein MP, Bjarnason BÁ, Tómasson K. Miðtaugarþvingun í úlnliðsgöngum. Athugun á 383 sjúklingum með einkenni í 557 höndum. *Læknablaðið* 1994; 80: 300–9.
13. Hafstein MP. Fræðslukver 1. Taugarafrit og vöðvarafrit. *Læknablaðið* 1988; 74: 101–15.
14. Oh SJ. Clinical Electromyography. Nerve conduction

- studies. 1st ed. Baltimore: University Park Press, 1984; 93-4, 190.
15. Thomas JE, Lambert EH, Cseuz KA. Electrodiagnostic aspects of the carpal tunnel syndrome. *Arch Neurol* 1967; 16: 635-41.
 16. Loong SC. The carpal tunnel syndrome: a clinical and electrophysiological study in 250 patients. *Clin Exp Neurol* 1977; 14: 51-65.
 17. Kimura I, Ayyar DR. The carpal tunnel syndrome: electrophysiological aspects of 639 symptomatic extremities. *Electromyography* 1985; 25: 151-64.
 18. Melvin JL, Schuchmann JA, Lanese RR. Diagnostic specificity of motor and sensory nerve conduction variables in the carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 1973; 54: 69-74.
 19. Johnson RK, Shrewsbury MM. Anatomical course of the thenar branch of the median nerve: usually in a separate tunnel through the transverse carpal ligament. *J Bone Joint Surg* 1970; 52-A: 269-73.
 20. Joynt RL. Correlation studies of velocity, amplitude, and duration in median nerves. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70: 477-81.
 21. Shivde AJ, Dreizin I, Fisher MA. The carpal tunnel syndrome. A clinical- electrodiagnostic analysis. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1981; 21: 143-53.
 22. Buchthal F, Rosenfalck A. Sensory conduction from digit to palm and from palm to wrist in carpal tunnel syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1971; 34: 243-52.
 23. Anderson MH, Fullerton PM, Gilliat RW, Hern JEC. Changes in the forearm associated with median nerve compression at the wrist in the guinea-pig. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1970; 33: 70-9.
 24. Ming-Hong C, Kwong-Kum L, Shih-Ping C, Koon-Wah K, See Chiu C. Proximal slowing in carpal tunnel syndrome resulting from either conduction block or retrograde degeneration. *J Neurol* 1993; 240: 287-90.
 25. Behse F, Buchthal F. Sensory action potential and biopsy of the sural nerve in neuropathy. *Brain* 1978; 101: 473-93.
 26. Thomas PK, Fullerton PK. Nerve fibre size in the carpal tunnel syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1963; 26: 520-7.
 27. Kemble F. Clinical manifestations related to electrophysiological measurements in the carpal tunnel syndrome. *Electromyography* 1968; 8: 19-26.
 28. Sunderland S. The nerve lesion in the carpal tunnel syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976; 39: 615-26.
 29. Asbury AK, Fields HL. Pain due to perirhral nerve damage: an hypothesis. *Neurology* 1984; 23: 1587-90.
 30. Torebjörk HE, Hallin RG. Perceptual changes accompanying controlled preferential blocking of A and C fibre. Responses in intact human skin nerves. *Exp Brain Res* 1973; 16: 321-32.
 31. AAEM quality assurance committee: Jablecki CK, Andary CMT, So YT, Wilkins DE, Williams FH. Literature review of the usefulness of nerve conduction studies and electromyography for the evaluation of patients with carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve* 1993; 16: 1392-414.