

## LIMITI DI RESISTENZA DEL SISTEMA DISCO-SOMATICO ALLE ELEVATE PRESSIONI - INDAGINE SPERIMENTALE

di

F. MASCALI

R. CUSCANI

La colonna vertebrale, come è risaputo, è costituita da una serie di corpi tra i quali sono poste delle formazioni fibro-cartilaginee cosiddette dischi intervertebrali.

Tali supporti fibrosi conferiscono alla colonna una doppia caratteristica: da una parte quella di permettere una certa mobilità tra i vari metanieri che costituiscono lo scheletro assile e dall'altra quella di trasmettere dall'uno all'altro metaniero le forze di carico in modo che, ove queste ultime fossero piuttosto elevate, non si verrebbe a determinare danno alcuno a livello delle strutture della colonna stessa.

L'unità funzionale dello scheletro assile viene pertanto schematizzata nel cosiddetto « sistema disco-somatico »; infatti tra il corpo e il disco intervertebrale esiste un'unità funzionale anche se essi, ad un esame anatomico, appaiono strutturalmente diversi.

Le forze di carico scomposte dalla trabecolatura del corpo vengono trasmesse così al piatto vertebrale il quale in genere ha una forma leggermente a cupola con la concavità rivolta verso la formazione sottostante che costituisce il disco intervertebrale.

Con quest'ultima formazione la limitante del corpo vertebrale prende solidi rapporti mediante le fibre del Sharpey che costituiscono i prolugamenti dei fasci fibrosi formanti l'anulus.

La limitante del corpo vertebrale pertanto non è sottoposta solo a forze pressorie, che da essa vengono poi trasmesse al sottostante disco intervertebrale, ma è anche sollecitata da forze di trazione da parte delle fibre dell'anulus messe a loro volta in tensione dalla forza di espansione del nucleo polposo.

Tale tensione è dovuta ad un duplice meccanismo rappresentato da una parte dallo stato di tensione del nucleo polposo dovuto

alla sua idrofilia e dall'altra dalla distribuzione radiale delle forze di carico che su di esso si esercitano verticalmente e che esso trasmette secondo la legge dei liquidi di Pascal.

Da quanto abbiamo detto si rileva come questi dischi e elementi (corpo e disco), anatomicamente diversi per struttura, siano funzionalmente uniti nel comune compito di trasmettere e di distribuire le forze di carico permettendo, al tempo stesso, una ampia motilità alla colonna. Ciò giustifica la complessa strutturazione di questa unità funzionale disco-somatica; s'intende, comunque, che i diversi componenti di questo sistema hanno un limite di resistenza diverso ai sovraccarichi, per cui sorge spontaneo il quesito: quale delle due strutture - - corpo e disco — resiste di più alle pressioni in senso assiale?

A questo quesito variamente nel tempo è stata data una risposta; ciò in rapporto ai vari mezzi di indagine sperimentale e ai vari dati che si possedevano sulla struttura e sulla natura chimico-fisica del disco intervertebrale inteso nel suo dualismo: anulus e nucleo polposo; perciò si è attribuita una minore resistenza alle sollecitazioni gravitarie ora al corpo vertebrale ora al disco.

Nell'intento di apportare un contributo alla soluzione di tale problema abbiamo studiato in via sperimentale l'effetto di dette sollecitazioni su dei segmenti di colonna (1).

Ai fini del nostro studio abbiamo scelto il tratto lombo-sacrale della colonna perché, come è risaputo, è proprio questo il segmento sul quale si scarica il maggiore peso; pertanto abbiamo prelevato da cadaveri, nello immediato periodo post-mortem, il tratto lombare della colonna unitamente alla prima vertebra sacrale. Abbiamo proceduto quindi alla iniezione di un mezzo di contrasto radiopaco (micropac) nella sede del nucleo polposo onde avere la possibilità di seguire radiograficamente il comportamento di esso sotto l'effetto di pressioni crescenti da noi esercitate sul complesso vertebra-disco intervertebrale.

Le pressioni sono state esercitate mediante una pressa idraulica (2) (Fig. 1), capace di esercitare delle forze di compressione dell'ordine di 20 tonnellate.

Essa risulta costituita:

- da un ponte di carico;
- da un dinamometro a pendolo sensibile anche a frazioni di chilogrammo;

(1) Questa indagine che s'inquadra nel piano di lavoro della nostra scuola in occasione della relazione al 51° congresso della S.I.O.T., ha lo scopo, in questa sede, di mettere a conoscenza più dettagliatamente le nostre esperienze.

(2) Pressa idraulica tipo PM 20 costruita dalle Officine C. GALDABINI, Italy.

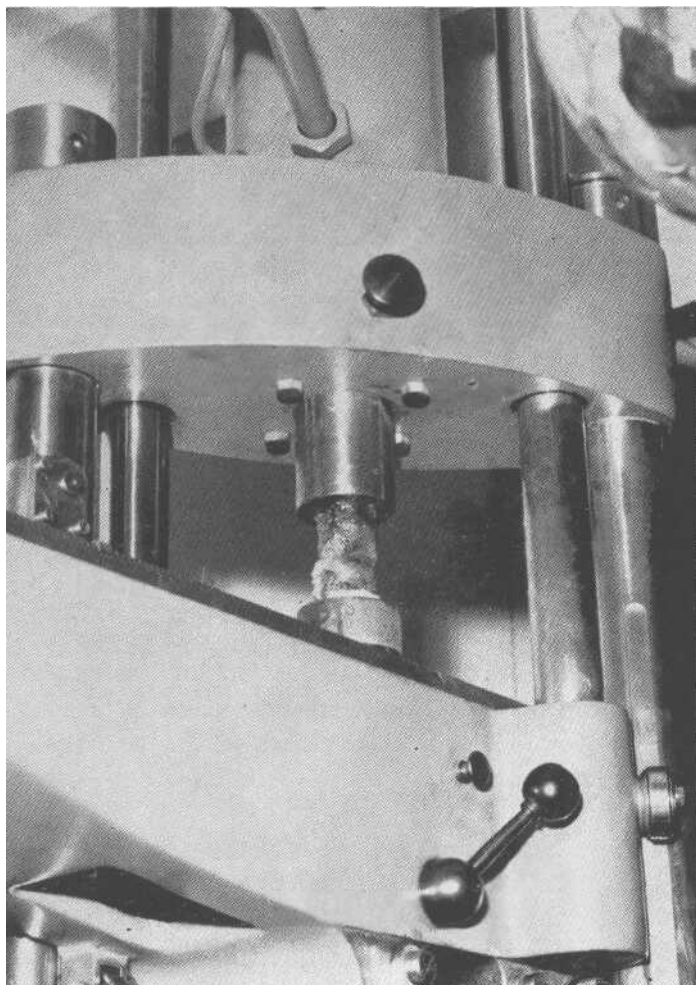


Fig. 1 - Particolare della pressa idraulica tipo PM20 dove si distingue il pezzo anatomico del tratto lombo sacrale della colonna disposto tra i morsetti del ponte di carico prima dell'inizio dell'esperimento

- da un particolare dispositivo a penna per la registrazione grafica del diagramma delle resistenze.

Le prime esperienze sono state condotte mediante pezzi anatomici, prelevati da cadavere, comprendenti anche il sistema articolato-arcate; in seguito però, per motivi di ordine pratico, abbiamo preferito eseguire le nostre esperienze in segmenti di colonna preventivamente privata del sistema posteriore articolato-arcate; abbiamo ridotto inoltre l'estensione dei segmenti da sottoporre alle prove in modo che essi risultassero costituiti, nel complesso,

da circa tre metanieri vertebrali, onde evitare la deflessione del pezzo anatomico in esame, che nei nostri primi esperimenti avevamo a lamentare a causa della lunghezza degli stessi. In questo modo abbiamo avuto la possibilità di sottoporre i segmenti in esame ad una pressione assiale, progressivamente crescente, tale da determinare la deformazione e lo schiacciamento di uno o più corpi vertebrali.

Le alterazioni strutturali che si venivano a determinare a seguito del carico sono state documentate sia con l'esecuzione periodica di radiogrammi che con la registrazione del tracciato delle resistenze, come abbiamo precedentemente detto.

La pressione massima tollerata dai pezzi anatomici in esame è stata dell'ordine di Kg. 350-460. Al di sopra di detto carico si è avuto pressoché costantemente il cedimento di uno o più corpi vertebrali che ha determinato il crollo della resistenza offerta dal *pezzo* alle pressioni.

Durante l'esecuzione dell'esperienza, come sopra abbiamo accennato, sono state eseguite radiografie e fotografie del pezzo anatomico a diversi stadi di carico e precisamente a Kg. 100, 200, 300, 400, ed oltre fino al cedimento del segmento vertebrale in esame; evento questo che imponeva la cessazione dell'esperimento.

Sistematicamente, inoltre, è stata raccolta la curva dinamometrica per ogni singola esperienza, la quale ci è servita a dimostrare esaurientemente l'andamento dello sforzo e delle relative resistenze.

In quasi tutti i casi, inizialmente, si è avuta un'ascesa pressoché regolare della curva, proporzionale all'aumento delle pressioni esercitate; tale andamento regolare però, in corrispondenza delle pressioni più elevate, veniva alterato dalla presenza di piccole cuspidi che, con molta probabilità, erano da riferire all'assestamento degli elementi vertebrali sottoposti al carico.

Infine si è registrato un abbassamento rapido della curva allorquando, col cedimento del pezzo anatomico, si determinava il crollo della resistenza di esso alle pressioni.

I segmenti di colonna lombare da noi presi in esame sono stati in numero di 15; per brevità ci limiteremo, nella nostra nota, ad esporre i casi più dimostrativi.

#### CASO I

Il segmento risulta composto quasi da tre corpi vertebrali e da due dischi intersomatici (Fig. 2). La radiografia, eseguita all'inizio dell'esperimento, fa rilevare una irregolare opacizzazione dei

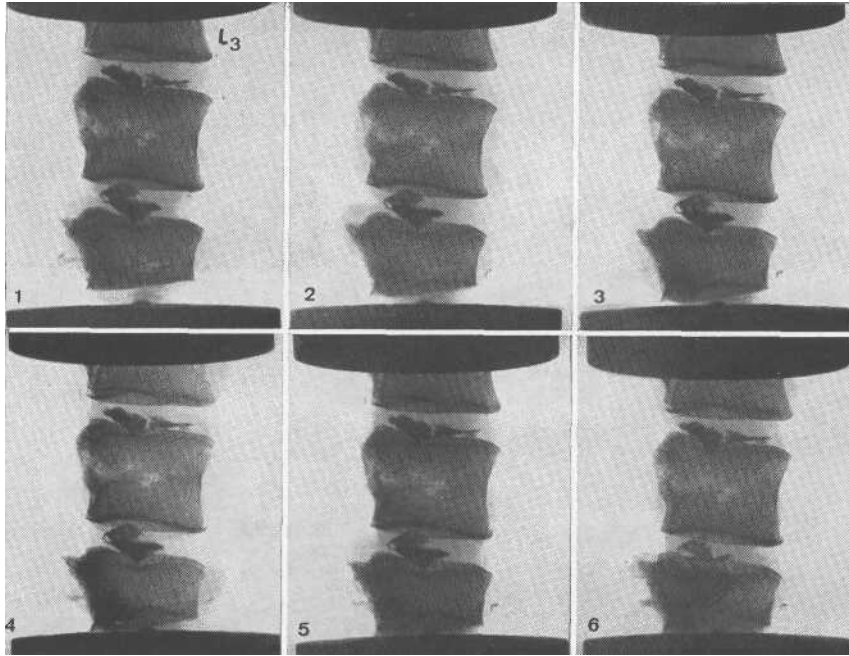


Fig. 2 - Sequenza di radiogrammi del pezzo anatomico a diverso carico: 1) kg 0; 2) kg 100; 3) kg 200; 4) kg 303; 5) kg 400; 6) kg 460. In quest'ultimo radiogramma si vede che il nucleo polposo, precedentemente opacizzato con micropac, per la lesione della limitante del corpo della L<sub>5</sub>, si è erniato nel contesto di quest'ultimo

nuclei polposi iniettati dal mezzo di contrasto da mettersi, presumibilmente, in rapporto alla degenerazione dei dischi stessi.

Il secondo radiogramma eseguito ad un carico di Kg. 100 non fa rilevare sostanziali modifiche nei riguardi del primo; anche il terzo radiogramma eseguito ad una pressione di Kg. 200 mostra una immagine pressoché invariata. A Kg. 300 si rileva una immagine più uniforme del disco intervertebrale tra la IV e la V vertebra lombare in rapporto all'aumentata pressione.

L'immagine radiografica anche alla pressione di Kg. 400 è pressoché sovrapponibile alla precedente. Allorché il carico raggiunge il valore di Kg. 460 si determina il crollo della V vertebra lombare che all'esame radiografico appare fratturata e il nucleo polposo, iniettato, appare incuneato nella limitante sottostante che risulta scompaginata. Malgrado la notevole pressione raggiunta, i dischi intervertebrali non si sono deformati in maniera apprezzabile.

Il diagramma dinamometrico (Fig. 3), regolarmente ascendente all'inizio dello esperimento, allorché il carico ha raggiunto il valore

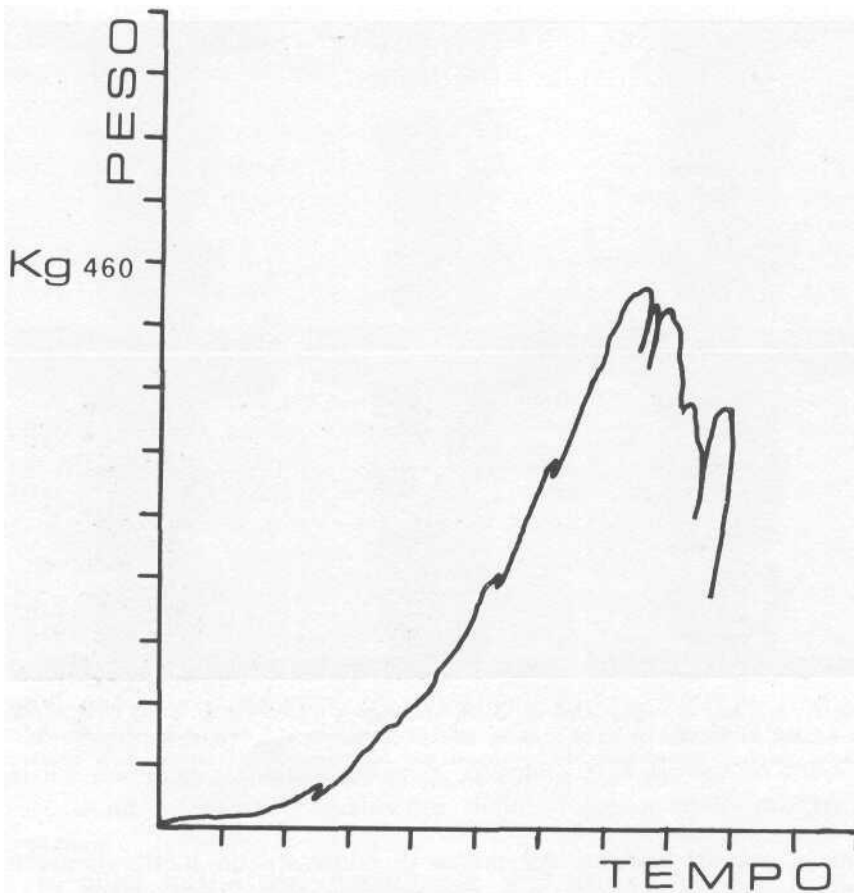


Fig. 3 - Diagramma della resistenza del pezzo anatomico della prima esperienza; esso è rappresentato inizialmente da una iperbole ascendente pressochè regolare seguita da un tratto irregolare e discendente in cui si notano delle profonde incisure che si continuano nel tratto finale, regolarmente discendente. Il primo tratto sta ad indicare la iniziale resistenza del pezzo al carico che va aumentando progressivamente. Le piccole cuspidi che in esso si rilevano sono state, secondo noi, dovute all'asestamento del pezzo. Il secondo tratto irregolare documenta il graduale scompaginamento della limitante superiore della L<sub>5</sub> che permetterà l'erniazione intraspongiosa del nucleo polposo con conseguente abbassamento repentino della resistenza espresso nel grafico dall'ultimo tratto della curva

di Kg. 460, si è fatto irregolare per la presenza di cuspidi; ulteriormente, in occasione del cedimento del corpo vertebrale, si è avuto un repentino abbassamento di esso. Il diagramma pertanto è stato assai interessante nei riguardi dell'esperimento: nel primo tratto regolarmente ascendente, data la resistenza del segmento al progressivo aumento delle sollecitazioni pressorie; nel secondo tratto irregolare, per la presenza di cuspidi dovute al graduale scompaginamento della limitante superiore della V lombare di

fronte a sollecitazioni pressorie via via crescenti; l'ultimo tratto rapidamente discendente, quasi in senso verticale, per il cedimento delle resistenze opposte dal pezzo anatomico a causa dello schiacciamento dell'ultimo corpo vertebrale.

## CASO II

Nessuna modificazione dell'immagine radiografica (Fig. 4) si osserva fino ad una pressione di Kg. 100 sia a carico dei corpi vertebrali che dei relativi dischi intervertebrali; il radiogramma eseguito quando il segmento in esame si trovava sottoposto ad

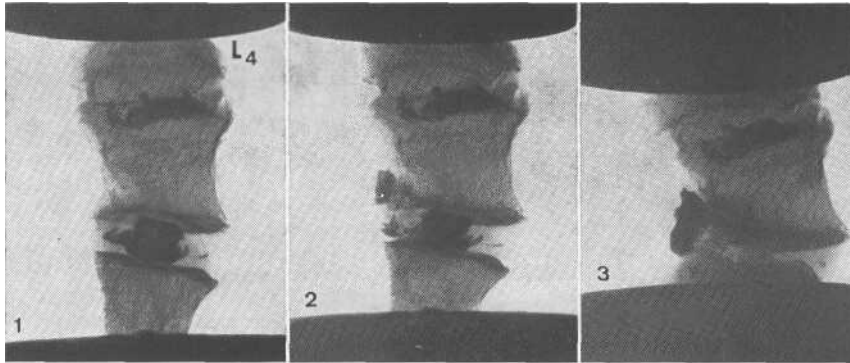


Fig. 4 - Sequenza di radiogrammi del pezzo anatomico utilizzato nella seconda esperienza a diverso carico: 1) kg 100; 2) kg 200; 3) kg 260. Da notarsi la irregolarità dei nuclei iniettati e le vegetazioni osteo-fitiche dei corpi che testimoniano uno stato di spondilosi disco-somatica. Nell'ultimo radiogramma si nota la protrusione posteriore dell'immagine nucleare e notevole riduzione dello spazio intersomatico tra la L<sub>5</sub> e la S<sub>1</sub> con schiacciamento di quest'ultima

una pressione di Kg. 200 fa rilevare una regolare diminuzione in *altezza* dei dischi intervertebrali.

Nel radiogramma successivo, eseguito ad una pressione di Kg. 260, si rileva una notevolissima diminuzione in *altezza* dello spazio intersomatico tra la V vertebra lombare e la I sacrale mentre il nucleo polposo appare completamente migrato dalla sede abituale verso la regione posteriore. L'ultimo corpo vertebrale appare completamente schiacciato.

Il diagramma dinamometrico (Fig. 5) risulta caratterizzato da un modesto innalzamento della curva dovuto molto probabilmente alla scarsa resistenza del *pezzo* anatomico che, come abbiamo visto, presenta segni marcati di spondilosi discosomatica.

Tale tratto, piuttosto regolare, è seguito da una porzione, pressoché orizzontale, meno regolare per la presenza di piccole

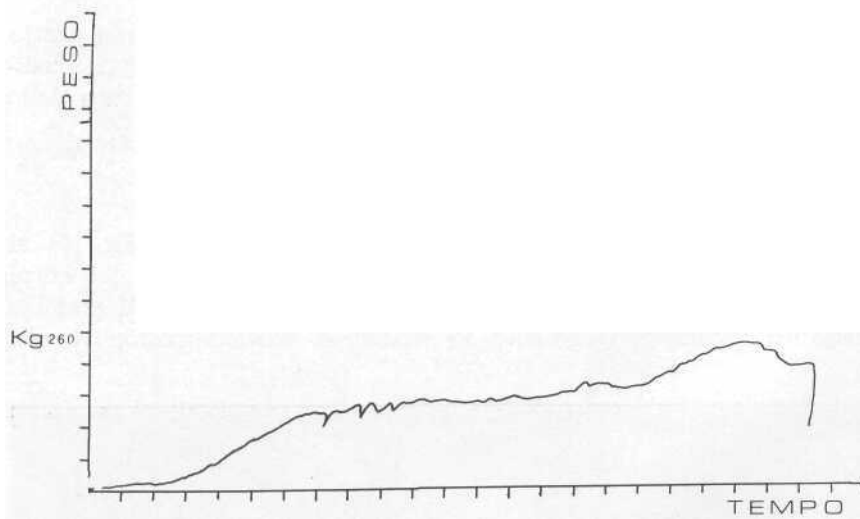


Fig. 5 - Diagramma della resistenza del pezzo utilizzato nella seconda esperienza. Si nota un modesto innalzamento della curva, anche se con regolarità, dovuto alla scarsa resistenza del pezzo anatomico che è seguito da un tratto orizzontale meno regolare per la presenza di piccole cuspidi iniziali che stanno a significare il periodo di assestamento degli elementi disco-somatici e la progressione posteriore del nucleo polposo. Dopo di che la curva si solleva nuovamente per poi cadere repentinamente. Ciò avveniva in corrispondenza della riduzione dello spazio intersomatico con avvicinamento delle limitanti vertebrali; fatto quest'ultimo che comportava un aumento della resistenza. La caduta del tratto finale è stata secondaria allo schiacciamento della S<sub>j</sub>, per cui cadeva repentinamente la resistenza

cuspidi che stanno a significare l'assestamento degli elementi disco-somatici e la protrusione posteriore del nucleo polposo. A ciò fa seguito un sollevamento della curva a cui segue una repentina caduta di essa.

Il caso in esame è sembrato particolarmente interessante in quanto si è determinata la completa migrazione posteriore del nucleo polposo a un carico relativamente modesto. A questo fenomeno corrisponderebbe il tratto orizzontale del diagramma. In seguito, per l'insufficienza discale, si è avuto un avvicinamento dei piatti tra di loro che ha condizionato il risollevarsi della curva dinamometrica fino al punto di rottura del corpo della I vertebra sacrale.

### CASO III

I primi due radiogrammi (Fig. 6), eseguiti rispettivamente a carico di Kg. 100 e Kg. 200, non mettono in evidenza sostanziali modifiche dei corpi vertebrali e dei dischi intersomatici così come d'altronde abbiamo visto nella precedente esperienza. Alla pressione di Kg. 320 si è osservata una notevole diminuzione in *altezza* degli spazi intersomatici e il nucleo polposo tra la IV e la V vertebra



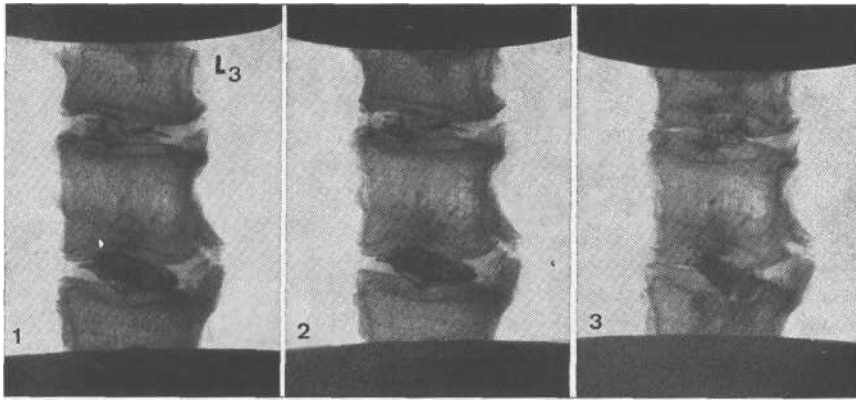


Fig. 6 - Sequenza di immagini radiografiche del pezzo utilizzato nella terza esperienza a diverso carico: 1) kg 100; 2) kg 200; 3) kg 320. Bene evidenti i fenomeni di spondilosi disco-somatica. Da notarsi la progressiva riduzione dello spazio intersomatico e nell'ultimo radiogramma la penetrazione intraspongiosa del nucleo iniettato nella L

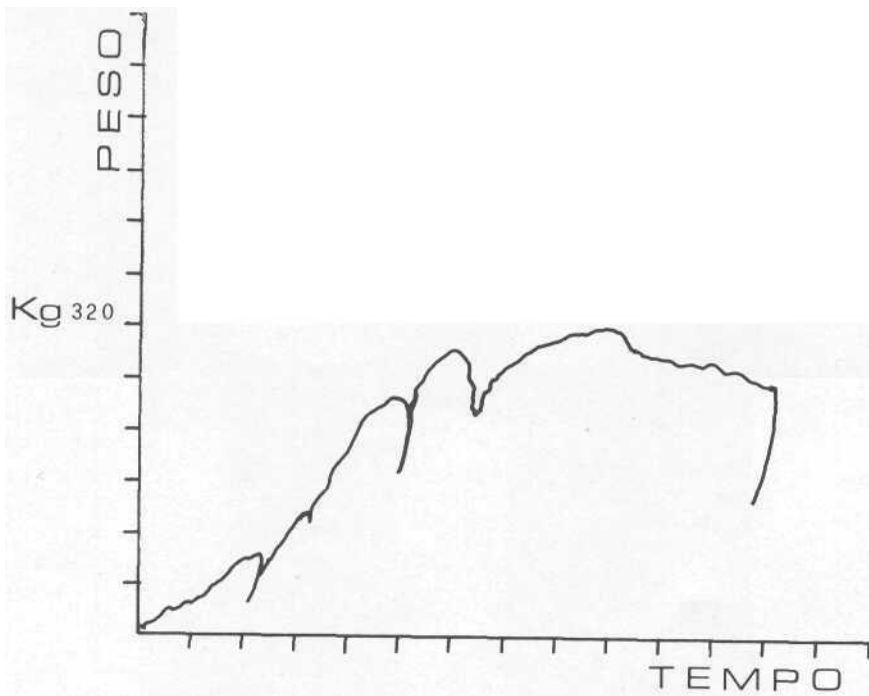


Fig. 7 - 11 diagramma della resistenza dapprima irregolarmente ascendente con ampie incisure documenta il progressivo forzamento della limitante della L<sub>5</sub> da parte del nucleo polposo. La seconda parte della curva, che prima discende gradualmente e che poi repentinamente si abbassa, indica la caduta della resistenza del pezzo anatomico per il graduale cedimento delle strutture trabecolari del corpo della L<sub>5</sub>

lombare appare quasi completamente compenetrato nella limitante inferiore, la quale ha ceduto alla pressione.

Il diagramma della resistenza (Fig. 7) in questo caso risulta costituito da un primo tratto irregolarmente ascendente, per la presenza di tre cuspidi, a cui segue un tratto discendente con gradualità piuttosto regolare.

Tale andamento della curva starebbe a dimostrare che nelle prime fasi del carico si è avuto uno stato di compressione del disco intervertebrale che, esercitatosi a livello delle lamine, ha determinato l'interruzione graduale di quella della V lombare e pertanto la penetrazione di tessuto discale nella spongiosa del corpo. Il secondo tratto della curva piuttosto regolare indica la progressiva diminuzione di resistenza da parte dell'elemento in esame per il graduale cedimento delle strutture trabecolari del corpo vertebrale.

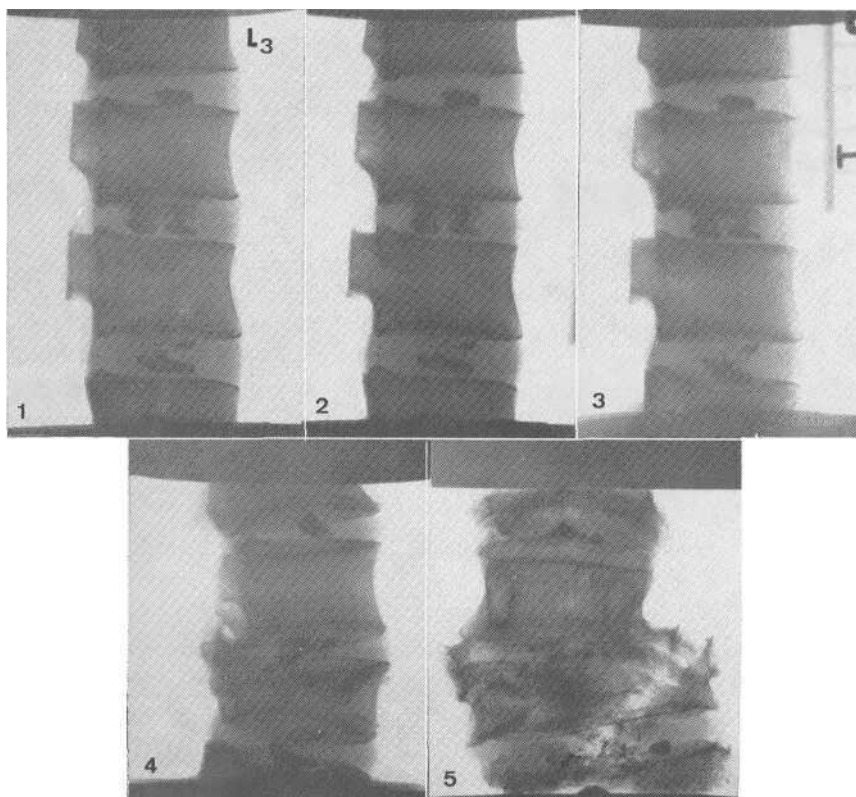


Fig. 8 - Negli ultimi due fotogrammi rappresentanti la proiezione radiografica laterale e antero posteriore del pezzo anatomico, ad un carico di circa kg 320, si è avuto il cedimento degli ultimi corpi vertebrali, mentre lo spazio intersomatico ha conservato pressochè la sua iniziale ampiezza

#### CASO IV

La radiografia (Fig. 8) eseguita all'inizio dell'esperimento mostra i nuclei polposi pressoché regolarmente iniettati; quella eseguita a Kg. 100 di carico non fa rilevare sostanziali modifiche nei riguardi della precedente.

Altrettanto può dirsi della successiva radiografia eseguita a Kg. 200.

A Kg. 320 ci è dato rilevare invece lo schiacciamento della quinta vertebra lombare, che nella proiezione anteroposteriore appare del tutto scompagnata, e della prima sacrale.

Scomparso è lo spazio intersomatico tra la IV e la V vertebra lombare, mentre quello tra quest'ultima e la I sacrale appare ancora conservato.

Il diagramma relativo allo sforzo esercitato è rappresentato da un tratto pressoché regolarmente ascendente, seguito da un altro discendente pressoché verticalmente che esprime il cedimento degli ultimi due corpi vertebrali.

#### DISCUSSIONE

Sulla scorta delle esperienze da noi compiute e dei risultati ottenuti possiamo trarre le seguenti considerazioni.

Assai utile ci è sembrato, a nostro avviso, l'iniezione del mezzo di contrasto nel nucleo polposo, in quanto ciò ha consentito di seguire le modificazioni che il nucleo stesso andava assumendo in relazione alle pressioni alle quali veniva sottoposto.

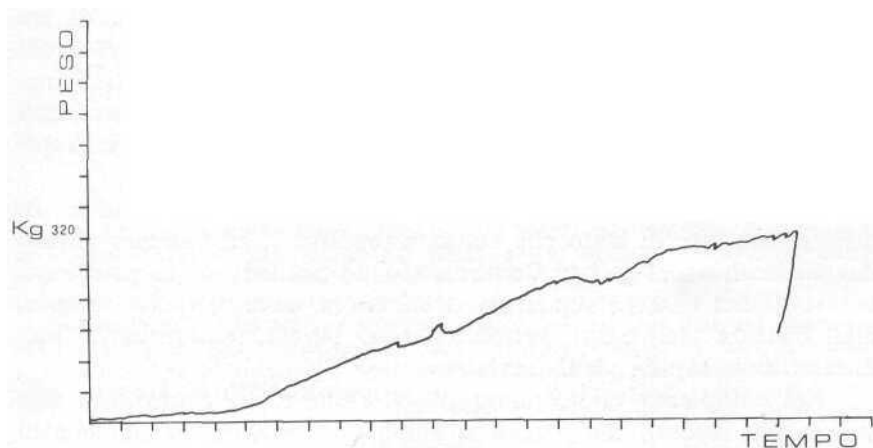


Fig. 9 - La curva della resistenza in questo caso si innalza progressivamente, piuttosto con regolarità, e si abbassa repentinamente in occasione del cedimento degli ultimi due corpi vertebrali

In linea di massima possiamo affermare che il disco intervertebrale, per lo meno in base alle nostre esperienze, risulta notevolmente più resistente alle pressioni del corpo stesso. In due terzi circa dei casi, infatti, abbiamo potuto rilevare uno schiacciamento del corpo vertebrale o di cedimento delle limitanti articolari per effetto del carico. La pressione necessaria a determinare la frattura del corpo vertebrale è stata dell'ordine di Kg. 350-450.

Solo in un numero molto ristretto di casi, come abbiamo precedentemente detto, siamo riusciti ad ottenere la migrazione del nucleo polposo che per lo più è stato espulso posteriormente. La migrazione del nucleo polposo è avvenuta, in genere, ad una pressione relativamente modesta, in media ad un carico di Kg. 200 circa.

Ciò potrebbe significare che sia avvenuto per una minore resistenza della parete posteriore del disco.

Nella maggioranza dei casi poi, nella prima fase dello esperimento, abbiamo rilevato una diminuzione in *altezza* degli spazi intervertebrali che non portava però ad una sostanziale modificazione del nucleo polposo stesso, anche se, alla visione diretta, poteva notarsi una certa protrusione del disco in senso periferico.

Per quanto riguarda poi lo studio del diagramma relativo allo sforzo necessario per ottenere il cedimento del particolare anatomico in esame abbiamo potuto notare come, in quasi tutti i tracciati da noi eseguiti, inizialmente si aveva un'ascesa pressoché regolare della curva dinamometrica, interrotta in qualche caso da piccole cuspidi, da riferire a cedimenti modesti del segmento vertebrale in esame secondari all'assestamento di esso. Ricordiamo ancora a questo proposito, che ci siamo serviti, di solito, di tre corpi vertebrali, perché nei primi esperimenti, eseguiti con dei segmenti vertebrali comprendenti tutto il tratto lombare e la prima vertebra sacrale, coll'aumento della pressione si determinava una deflessione del segmento che non ci consentiva di continuare l'esperimento alle pressioni da noi desiderate.

Alla fase di ascesa della curva dinamometrica seguiva, in genere, una fase di stato che stava, secondo noi, ad indicare l'inizio del cedimento del pezzo. Continuando ad aumentare la pressione, si aveva una discesa repentina della curva dovuta, quasi sempre, alla frattura dei corpi vertebrali che, perciò, determinava una diminuzione rapida della resistenza.

Nel complesso ci sentiamo di concludere, in conformità alle vedute più recenti, che perché si abbia una protrusione del nucleo polposo sono necessarie delle cause predisponenti, quali la degenerazione od, in genere, la diminuita resistenza della porzione anulare del disco. Ad una sollecitazione di grado notevole, come

abbiamo visto nei segmenti di colonna appartenenti a soggetti di giovane età, corrisponde il cedimento di uno o più corpi vertebrali e non del sistema discale. Ciò, secondo noi, potrebbe trovare riscontro nella pratica clinica dove in occasione di traumi gravi osserviamo di solito una frattura vertebrale, mentre i traumi lievi e ripetuti di solito danno luogo ad una protrusione posteriore del disco.

#### **Riassunto**

Gli Autori, sottoponendo dei segmenti di colonna prelevati da cadaveri nell'immediato post-mortem all'azione di forze pressorie mediante una pressa idraulica, hanno indagato sui limiti di resistenza del sistema disco-somatico alle elevate pressioni.

Essi concludono che in seguito a sollecitazioni di grado notevole si ha in genere il cedimento del corpo vertebrale e non del disco.

Quando poi esistono lesioni degenerative dell'anulus il nucleo polposo è capace di protrudere anche a pressioni modeste.

#### **Résumé**

Les Auteurs en soumettant des segments de colonne, prélevés par des cadavres dans l'imédiat post-mortem, à l'action des forces pressants d'une presse hydraulique, ont fait des recherches sur les limites de résistance du système disque-somatique aux tensions élevées.

Ils concluent qu'après des remarquables sollicitations on a, généralement, l'affaissement du corps vertebra! et pas du disque.

Lorsque des lésions anulaires dégénératives parviennent, le nucléus charnu est capable de se prolonger même à des tensions modestes.

#### **Summary**

The AA submitted column segments taken from corpses immediately post-mortem, to the action of pressing forces with the help of an hydraulic press, and so researched the resistance limits of the dyscosomatic System to the high pressures.

They conclude that as a result of very high sollicitations, we have generally the ceding of the vertebral body and not of the discus, when then exist degenerative hurts of the anulus and the pulpous nucléus is able to protrude even under insignificant pressures.

#### **Zusammenfassung**

Die AA legten einige Säulesegmente, die sofort post-mortem von Leichen vorweggenommen wurden, unter die Wirkung von driickenden Kraften durch eine hydraulische Presse, und dadurch haben sie Widerstandsgrenzen des diskusomatischen Systems erforscht, wenn es sich um hohen Driioke handelt.

Sie schliessen, dass infolge der hohen Betreibungen, hat man im allgemein nicht das Sinken des Diskus sondern des Wirbelkörpers. Wenn dann Beschädigungen des Anulus vorhanden sind, die entarten, kann der pulposus iNucleus auch unter kleinen Drucke auswachsen.

#### **Bibliografia**

AJEVOLI E.: *Sul meccanismo delle fratture in rapporto alle leggi sulla deformazione dei corpi solidi.* Arch. Ortop., 1898, XV, 385.

ALBANESE A.: *Sulla resistenza meccanica del rachide.* Arch. Ortop., 1922, XXXVIII, 391.

- BROWN T., R.J. HANSEN, A.J. YORRA: *Some mechanical tests on the lumbosacral spine with particular reference to the intervertebral discs*. The Journal of Bone and Joint surgery, A, 1957, XXXIX (2), 1135.
- CUSCANI R., EMMA V.: *La compressione e la trazione sugli elementi vertebrali alla indagine fotoelasticitometrica*. Atti Mem. S.O.T.I.M.I. 1966, XIII, 37.
- DELITALA F., BONOLA A.: *Ernia del disco e sciatica vertebrale*. Cappelli, Bologna, 1949.
- DEL PRETE A., BOSCHETTI A.: *Studio sperimentale sulla resistenza del corpo vertebrale alle pressioni centrali ed eccentriche rispetto all'asse centrosomatico*. Atti Mem. S.O.T.I.M.I., 1963, Vili (2), 14.
- DEL TORTO U.: *Contributo allo studio della fisiopatologia del disco intervertebrale attraverso le immagini discografiche*. O.T.A.M., 1961, XIX, 3.
- DEL TORTO U.: *Ricerche sulla fisiologia del disco intervertebrale*. Atti Mem. S.O.T.I.M.I., 1958, III, 107.
- EGGERS G. W. N., SHINDLER T. O., POMERAT C. M.: *The influence of the contactcompression poetar on osteogenesis in surgical fractures*. Journ. Bone Joint. Sur., 1949, XXXI A, 69.
- ETTORRE E.: *Ricerche sperimentali sulle fratture del corpo vertebrale*. Chir. Org. Mov., 1932, XVII, 89.
- EVANS F.G.: *Stress and strain in Bonus-Charles C. Thomas*, Spingite!, Illinois, 1957.
- FINESCHI G.: *Patologia e clinica dell'ernia posteriore del disco intervertebrale*. Edizioni I.O.T., Firenze, 1955.
- HIRCH C.: *The reaction of intervertebral discs to compression forces*. Journ Bone Joint Surg. 1955, XXXVII A, 1188.
- LEONARDI A.: *Le protrusioni posteriori del disco intervertebrale*. Relazione 51° congresso S.I.O.T., Catania, 1966.
- NAITANA S., SOTGIU F., RUJU E.: *Contributo allo studio della meccanica del disco intervertebrale. Indagini fotoelastografiche*. Atti Mem. S.O.T.I.M.I., 1956, VII, 398.
- RIEUNAU G., TRONETT L., DIEULAFE J. J.: *Fractures du rachis dorsolombaires. (Elude sperimentale)*. Toulouse Med., 1959, LX, 309.
- SCHMORL G., JUNGHANS H.: *La colonna vertebrale sana e malata nella radiologia e nella clinica*. Abbruzzini Ed., Roma, 1959.
- TEICHERT G.: *Zur morphologie una funktion des nucleus pulposus*. Zeit. Orthop., 1962, XCV, 330.