

TRAUMA

Ediția a 7-a

Editori

Kenneth L. Mattox, MD

Distinguished Service Professor
Baylor College of Medicine

Michael E. DeBakey Department of Surgery

Chief of Staff

Chief of Surgery

Ben Taub General Hospital
Houston, Texas

Ernest E. Moore, MD

Professor and Vice Chairman

Department of Surgery

University of Colorado at Denver and Health Sciences Center

Bruce M. Rockwell Distinguished Chair of Trauma Surgery

Rocky Mountain Regional Trauma Center

Chief of Surgery

Denver Health Medical Center

Denver, Colorado

David V. Feliciano, MD

Attending Surgeon, Atlanta Medical Center

Atlanta, Georgia

Attending Surgeon, Medical Center of Central Georgia

Macon, Georgia

Professor of Surgery

Mercer University School of Medicine

Macon, Georgia

Adjunct Professor of Surgery

Uniformed Services University of the Health Sciences

Bethesda, Maryland

Mircea Gr. Beuran, MD, PhD

Profesor universitar, doctor în științe medicale

Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila” București

Medic primar chirurgie generală

Spitalul Clinic de Urgență București

Coordonatorul ediției în limba română



Medical



New York Chicago San Francisco Lisbon London Madrid Mexico City
Milan New Delhi San Juan Seoul Singapore Sydney Toronto

CUPRINS

Editori.....	.xi
Editorii versiunii în limba română.....	xvii
Prefață în limba română.....	xx
Prefață.....	.xxi

SECȚIUNEA 1

PRIVIRE DE ANSAMBLU ASUPRA TRAUMEI

1. Cinematica.....	2	4. Sisteme de traumă, triaj și transport.....	54
<i>John P. Hunt, Alan B. Marr și Lance E. Stuke</i>		<i>Raul Coimbra, David B. Hoyt și Vishal Bansal</i>	
2. Epidemiologie.....	18	5. Scoruri de severitate lezională și analiza rezultatelor.....	77
<i>Thomas J. Esposito și Karen J. Brasel</i>		<i>Robert D. Becher, J. Wayne Meredith și Patrick D. Kilgo</i>	
3. Prevenția traumatismelor.....	36	6. Chirurgia de urgență.....	91
<i>Ronald V. Maier și Charles Mock</i>		<i>Gregory J. Jurkovich</i>	

SECȚIUNEA A 2-A

ABORDAREA GENERALĂ A PACIENTULUI TRAUMATIZAT

7. Îngrijiri în prespital.....	100	13. Hemoterapia și hemostaza posttraumatică.....	216
<i>Jeffrey P. Salomone și Joseph A. Salomone III</i>		<i>Fredric M. Pieracci, Jeffry L. Kashuk și Ernest E. Moore</i>	
8. Dezastre și accidente în masă.....	123	14. Toracotomia în departamentul de urgență.....	236
<i>Eric R. Frykberg și William P. Schechter</i>		<i>Clay Cothren Burlew și Ernest E. Moore</i>	
9. Trauma rurală.....	140	15. Radiologie de diagnostic și radiologie intervențională.....	251
<i>Charles F. Rinker II și Nels D. Sanddal</i>		<i>Salvatore J.A. Sclafani</i>	
10. Evaluarea primară și managementul.....	154	16. Rolul ecografiei efectuată de chirurg în îngrijirile acute chirurgicale.....	301
<i>Panna A. Codner și Karen J. Brasel</i>		<i>Christopher J. Dente și Grace S. Rozycki</i>	
11. Controlul căilor aeriene.....	167	17. Principiile anesteziei și terapia durerii.....	322
<i>Eric A. Toschlog, Scott G. Sagraves și Michael F. Rotondo</i>		<i>Dirk Younker</i>	
12. Managementul șocului.....	189	18. Infecții.....	330
<i>Louis H. Alarcon, Juan Carlos Puyana și Andrew B. Peitzman</i>		<i>Michael A. West și Daniel Dante Yeh</i>	

SECȚIUNEA A 3-A

MANAGEMENTUL LEZIUNILOR SPECIFICE

- | | |
|---|--|
| 19. Leziunile cerebrale traumatice 356
<i>Alexander F. Post, Thomas Boro și James M. Ecklund</i> | 30. Leziunile splenice 561
<i>David H. Wisner</i> |
| 20. Ochiul 377
<i>Petros E. Carvounis și Yvonne I. Chu</i> | 31. Stomacul și intestinul subțire 581
<i>Lawrence N. Diebel</i> |
| 21. Fața 395
<i>Robert M. Kellman</i> | 32. Duodenul și pancreasul 603
<i>Walter L. Biffl</i> |
| 22. Gâtul 414
<i>David V. Feliciano și Gary A. Vercruysse</i> | 33. Traumatismele colonului și rectului ... 620
<i>Demetrios Demetriades și Kenji Inaba</i> |
| 23. Coloana vertebrală și măduva spinării . 430
<i>Maneesh Bawa și Reginald Fayssoux</i> | 34. Leziuni vasculare abdominale 632
<i>Christopher J. Dente și David V. Feliciano</i> |
| 24. Toracotomia în traumă:
principii și tehnici 461
<i>Kenneth L. Mattox, Matthew J. Wall, Jr.
și Peter Tsai</i> | 35. Pelvis 655
<i>George C. Velmahos</i> |
| 25. Plămânii, traheea și esofagul 468
<i>Joseph A. DuBose, James V. O'Connor
și Thomas M. Scalea</i> | 36. Traumatismele genito-urinare 669
<i>Michael Coburn</i> |
| 26. Leziunile cordului
și vaselor mari intratoracice 485
<i>Matthew J. Wall, Jr., Peter Tsai
și Kenneth L. Mattox</i> | 37. Traumatismul în sarcină 709
<i>M. Margaret Knudson și
Daniel Dante Yeh</i> |
| 27. Laparotomia în traumă:
principii și tehnici 512
<i>Asher Hirshberg</i> | 38. Operațiile de limitare a leziunilor 725
<i>Amy D. Wyrzykowski și David V. Feliciano</i> |
| 28. Diafragma 529
<i>Kevin M. Schuster și Kimberly A. Davis</i> | 39. Membrul superior 747
<i>Nata Parnes, Peleg Ben-Galim
și David Netscher</i> |
| 29. Ficatul și căile biliare 539
<i>Timothy C. Fabian și Tiffany K. Bee</i> | 40. Membrul pelvin 783
<i>Philip F. Stahel, Wade R. Smith
și David J. Hak</i> |
| | 41. Leziunile vasculare periferice 816
<i>Michael J. Sise și Steven R. Shackford</i> |

SECȚIUNEA A 4-A

PROVOCĂRI SPECIFICE ÎN TRAUMĂ

- | | |
|--|--|
| 42. Alcoolul și drogurile 850
<i>Larry M. Gentilello</i> | 50. Prelevarea organelor
pentru transplantare 944
<i>Aditya K. Kaza și Max B. Mitchell</i> |
| 43. Pacientul pediatric 859
<i>David W. Tuggle și Nathaniel S. Kreykes</i> | 51. Reabilitarea 950
<i>Paul F. Pasquina, Caitlin L. McAuliffe
și Kevin F. Fitzpatrick</i> |
| 44. Pacientul geriatric 874
<i>Jay A. Yelon</i> | 52. Terapia modernă
a traumatismelor
din conflictele militare 964
<i>Jay Johannigman, Peter Rhee, Donald Jenkins
și John B. Holcomb</i> |
| 45. Etica chirurgiei de urgență 886
<i>Laurence B. McCullough</i> | 53. Noțiuni de genomică
în chirurgia de urgență 991
<i>Grant E. O'Keefe și J. Perren Cobb</i> |
| 46. Violența socială 890
<i>James W. Davis</i> | 54. Trauma, medicina și legea 997
<i>Kenneth L. Mattox și Stacey A. Mitchell</i> |
| 47. Plăgi, mușcături și înțepături 896
<i>Charles A. Adams, Jr., Daithi S. Heffernan
și William G. Cioffi</i> | |
| 48. Arsuri și radiații 922
<i>Jong O. Lee și David N. Herndon</i> | |
| 49. Sindroamele produse prin temperatură: hi-
pertermia, hipotermia și degerăturile. . 938
<i>David H. Ahrenholz</i> | |

SECȚIUNEA A 5-A

MANAGEMENTUL COMPLICAȚIILOR POSTTRAUMATICE

- | | |
|---|--|
| 55. Principiile terapiei intensive 1006
<i>Raul Coimbra, Jay Doucet și Vishal Bansal</i> | 59. Insuficiența renală 1084
<i>Charles E. Lucas, Michael T. White
și Anna M. Ledgerwood</i> |
| 56. Insuficiența cardiovasculară 1041
<i>Mary Margaret Wolfe și Fred Luchette</i> | 60. Suportul nutrițional și
managementul electrolitilor 1100
<i>Kenneth A. Kudsk și Caitlin Curtis</i> |
| 57. Insuficiența respiratorie 1055
<i>Jeffrey L. Johnson și James B. Haenel</i> | 61. Insuficiența multiplă de organ 1128
<i>Angela Sauaia, Frederick A. Moore și Ernest E. Moore</i> |
| 58. Disfuncția gastrointestinală 1073
<i>Rosemary A. Kozar și Frederick A. Moore</i> | |

ATLAS DE TRAUMĂ

Introducere la Atlas	1148
Capul și regiunea cervicală	1149
Toracele și aperturile toracice	1155
Abdomenul	1175
Sistemul vascular	1192
Index	1201

Cinematica

John P. Hunt, Alan B. Marr și Lance E. Stuke

Cinematica este o ramură a mecanicii clasice care se ocupă doar cu studiul mișcării fără a ține cont de masele sau forțele implicate în mișcare. Provine din grecescul *knma*, *knmat*-, *mișcare*.¹

Așa cum se poate deduce din etimologie, cinematica grăvitează în jurul conceptului de mișcare. Orice leziune traumatică este legată de interacțiunea dintre gazdă și un obiect aflat în mișcare. Obiectul în sine poate fi comun și tangibil, ca de exemplu, un automobil în mișcare sau un glonț în deplasare, sau, mai subtil, ca în cazul particulelor și moleculelor în mișcare implicate în leziunile cauzate de căldură, explozii și radiația ionizantă. Mecanica newtoniană, legile de bază ale fizicii, proprietățile anatomice și fizice ale corpului uman explică multe dintre leziunile și modelele lezionale observate în traumatismele deschise și contuzive. Leziunea depinde de energia elementului lezional și de interacțiunea dintre element și victimă. Deși majoritatea pacienților suferă asocieri lezionale unice, în cadrul fiecărui incident, există modele de transfer al energiei ce pot fi definite și înțelese, și care vor determina anumite tipuri de leziuni specifice și predictibile. Cunoașterea detaliilor unui eveniment traumatic poate ghida medicul curant în efectuarea investigațiilor, pentru a găsi leziuni oculte dar predictibile.

Acest capitol a fost organizat în trepte. Inițial sunt trecute în revistă legile fundamentale ale fizicii și proprietățile materialelor ce guvernează modul de interacțiune dintre victimă și elementul lezional. Urmează o examinare mai detaliată a traumatismelor penetrante și contuzive și un corolar al mecanismelor lezionale pe anumite organe și regiuni anatomice. Se speră că această manieră va oferi cititorului o mai bună înțelegere a modelelor lezionale, a modului lor de producere și a leziunilor rezultate.

PRINCIPII DE BAZĂ

Legile lui Newton, impulsul, momentul, energia și lucrul mecanic, ciocniri elastice și plastice

Prima lege a lui Newton enunță faptul că orice corp își menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă atât timp cât asupra sa nu acționează nici o forță externă. Aceasta este definiția inerției. A doua lege a lui Newton rezultă din prima și definește în plus forța (F) egală cu produsul dintre masă (m) și accelerație (a).

$$F = ma.$$

Exercitarea unei forțe nu are loc instantaneu, ci în timp. Dacă înmulțim ambele părți ale ecuației precedente cu variabila timp rezultă

$$\int F dt = ma(t).$$

Produsul dintre forță și timp este cunoscut ca impuls, iar multiplicarea accelerației cu timpul determină viteza. Momentul (p) este definit ca produsul dintre masa (m) și viteza acestuia (v).

$$p = mv,$$

prin urmare

impulsul = modificarea momentului.

Important de reținut este că o forță sau un impuls va determina o modificare a momentului și viceversa, o modificare a momentului va genera o forță.² Acest lucru este redat de al treilea principiu al mecanicii, care afirmă că pentru orice acțiune sau forță există o reacțiune egală și de sens contrar.³ De exemplu, atunci când două obiecte cu viteze și mase egale se lovesc, vite-

zele lor devin zero (în momentul impactului). Această modificare a vitezei și implicit a momentului a fost cauzată de aplicarea unei forțe de către fiecare obiect asupra celuilalt. În momentul impactului aceste forțe sunt egale și de sens opus. Conform legii a 2-a a lui Newton unei forțe i se asociază o modificare a momentului. În acest sistem, forța rezultantă este zero, prin urmare, modificarea momentului este și ea zero. Acest exemplu ilustrează principiul conservării momentului. Momentul mecanic total al unui sistem va rămâne constant atât timp cât asupra lui nu acționează o forță din exterior. Momentul acestui sistem, format din cele două obiecte, este constant, fiind același înainte și după coliziune.⁴

Următoarele principii de bază sunt lucrul mecanic și energia. Lucrul mecanic (W) este definit ca forța exercitată pe o distanță și este frecvent notat ca

$$W = \int F dx,$$

unde $F = ma$ și $a = v dv/dx$

$$W = \int m v dv/dx (dx),$$

de unde după rezolvarea integralei rezultă cunoscuta formulă a energiei cinetice: $1/2mv^2$

$$W = 1/2mv_2^2 - 1/2mv_1^2.$$

Prin urmare lucrul mecanic efectuat de un obiect în mișcare, ce interacționează cu un alt obiect, este egal cu energia cinetică a primului obiect anterior de interacțiune minus energia cinetică după interacțiune. Cu alte cuvinte lucrul mecanic efectuat este egal cu variația energiei cinetice a primului obiect.⁵ Când această interacțiune pune în mișcare al doilea corp, acesta are acum energie cinetică proprie, egală cu lucrul mecanic efectuat. James Joule a enunțat prima lege a termodinamicii în 1840, care stabilește că energia nu poate fi nici creată, nici distrusă.⁶ Interacțiunile în care momentul și energia se conservă sunt numite interacțiuni elastice.

În cadrul traumatismelor, majoritatea coliziunilor sunt plastice. În cazul ciocnirilor plastice se conservă momentul dar nu și energia cinetică. În aceste cazuri energia cinetică „efectuează lucru mecanic” prin deformarea obiectelor, ajungând chiar ca mai multe obiecte conglomerate să formeze un obiect singular. Acest eveniment este semnul distinctiv al ciocnirilor plastice. Acest transfer de energie sau lucru mecanic efectuat este în mod obișnuit responsabil de leziunea suferită de gazdă.

Transferul de energie și conservarea momentului pot fi ilustrate în ciocnirea dintre două mașini. Fig. 1-1(A) redă o coliziune frontală între două mașini cu mase și viteze identice, deci cu momente și energii cinetice identice. Momentele sunt egale și de sens opus. Prin urmare momentul total al sistemului este 0 înainte de impact și conform legii conservării momentului, va fi tot 0 și după impact. În urma coliziunii, ambele mașini se vor opri. Este ca și cum o mașină s-ar ciocni de un zid. Reamintindu-ne a doua și a treia lege a lui Newton, această modificare bruscă a momentului reprezintă o forță, care acționează în mod egal asupra ambelor mașini. Deoarece viteza finală este 0, energia cinetică finală este tot 0, însemnând că toată energia cinetică a fost convertită în lucru mecanic, care a oprit cealaltă mașină și a cauzat deformare, ca de exemplu spargerea geamurilor, îndoirea metalelor, și deformarea habitaculului. Dacă momentul mașinii A este mai mare decât cel al mașinii B, prin faptul că aceasta are fie masa sau viteza mai mare, masa rezultantă C va avea momentul orientat în direcția momentului inițial al mașinii A.

În ciocnirile laterale direcțiile momentelor mașinilor A și B sunt perpendiculare. Prin urmare pe axa momentului mașinii A, mașina B are momentul 0, iar pe axa momentului mașinii B, mașina A are momentul tot 0. Conglomeratul C conservă momentul din ambele axe, A și B, având direcția rezultantă ilustrată în fig. 1-1(B). În consecință, modificările momentului și forțele generate sunt mult mai mici decât într-o ciocnire frontală. De asemenea, C continuă să aibă viteză și astfel energie cinetică. Aceasta înseamnă că o parte din energia cinetică inițială nu a fost transformată în lucru mecanic și că în urma accidentului vor rezulta mai puține daune autovehiculelor. Ca regulă generală, cu cât o ciocnire este mai aproape de o coliziune frontală cu atât modificarea momentului este mai mare și astfel forța generată este mai mare.

În coliziunile din spate momentul ambelor mașini are de regulă aceeași direcție și sens, fig. 1-1(C). Astfel modificările momentului și forțele rezultante generate sunt mici, la fel și transformarea energiei cinetice în lucru mecanic. Aceste principii se aplică tuturor tipurilor de coliziune, fie un glonte ce penetrează o victimă, o mașină lovind un pieton sau un șofer lovind parbrizul.

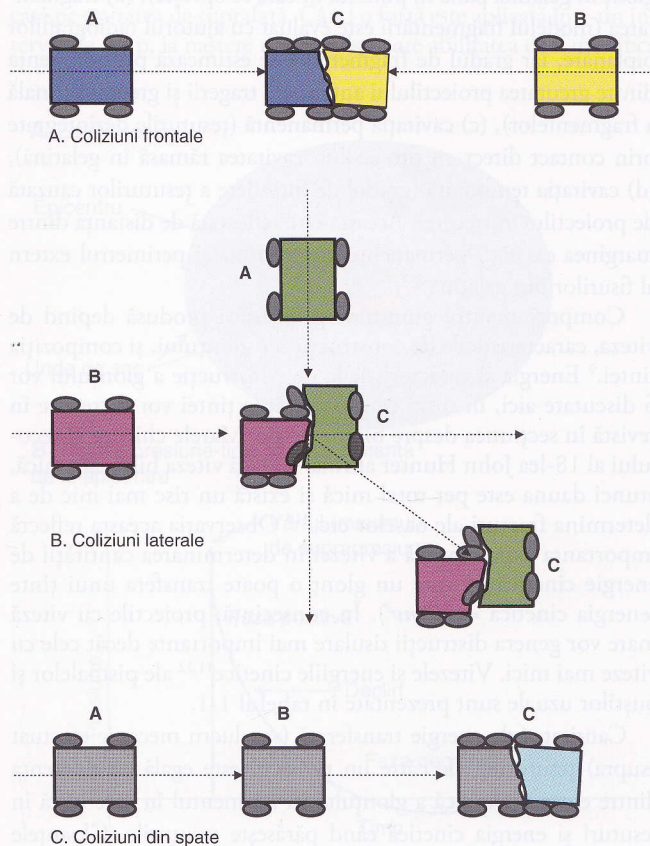


FIGURA 1-1 Energia și momentele mecanice prezente în diversele scenarii ale accidentelor de circulație. (A) În coliziunile frontale regăsim cea mai mare modificare a momentului mecanic în cea mai scurtă durată de timp și prin urmare cele mai mari forțe generate. (B) Coliziunile laterale. Când se lovesc mașinile A și B, momentul mecanic resultant le direcționează spre poziția finală C; momentele mecanice individuale de pe axe x și y se disipă pe o durată mai îndelungată, determinând generarea unor forțe mai mici decât în leziunile frontale. (C) Coliziunile din spate. Având în vedere că aceste mașini se deplasează în aceeași direcție, modificarea momentului mecanic și forțele generate sunt mici.

Traumatismele deschise și balistica

Deși principiile menționate mai sus au fost elaborate în contextul contuziilor, ele sunt în egală măsură aplicabile traumatismelor deschise. Studiul balisticii detaliază energia proiectilelor în momentul părăsirii armei de foc și transferul de energie în momentul impactului acestora cu victima. Theodore Kocher a fost primul care a sugerat că energia cinetică a glonțului s-ar disipa în următoarele patru modalități: căldura, energia folosită pentru a deplasa țesuturile radial spre exterior, energia utilizată pentru a crea un traiect primar prin zdrobirea directă a țesuturilor și energia consumată pentru deformarea proiectilului.⁷ În ciuda limitelor studiului balisticii pe vremea aceea, Kocher avea în mare parte dreptate. Cunoștințele actuale mult mai extinse despre comportamentul glonțului într-o gazdă provin din observarea comportamentului gloanțelor în gelatină, care are proprietăți similare cu ale mușchiului și despre care se consideră ca ar reflecta modul în care energia este transferată țesuturilor. Din astfel de experimente au fost descrise multiple caracteristici ale glonțului ce penetrează țesuturi, printre care: (a) penetrarea (distanța parcursă de proiectil prin țesuturi reflectată în distanța parcursă de glonț în gelatină până în punctul în care se oprește), (b) fragmentarea (modelul fragmentării este evaluat cu ajutorul radiografiilor biplanare, iar gradul de fragmentare se estimează prin diferența dintre greutatea proiectilului anterioară tragerii și greutatea finală a fragmentelor), (c) cavitația permanentă (țesuturile dezintegrate prin contact direct cu proiectilul, cavitatea rămasă în gelatină), (d) cavitația temporară (gradul de întindere a țesuturilor cauzată de proiectilul în trecere). Aceasta este reflectată de distanța dintre marginea cavitații permanente din gelatină și perimetrul extern al fisurilor din gelatină.⁸

Comportamentul glonțului și leziunea produsă depind de viteză, caracteristicile de construcție ale glonțului, și compoziția țintei.⁹ Energia și caracteristicile de construcție a glonțului vor fi discutate aici, în timp ce proprietățile țintei vor fi trecute în revistă în secțiunea despre biomateriale. Marele chirurg al secolului al 18-lea John Hunter afirma: „Dacă viteza bilei este mică, atunci dauna este per total mică și există un risc mai mic de a determina fracturi ale oaselor etc.”¹⁰ Observația aceasta reflectă importanța exponențială a vitezei în determinarea cantității de energie cinetică pe care un glonț o poate transfera unui ținte (energia cinetică = $1/2mv^2$). În consecință, proiectile cu viteză mare vor genera distrucții tisulare mai importante decât cele cu viteze mai mici. Vitezele și energiile cinetice^{11,12} ale pistoalelor și puștilor uzuale sunt prezentate în **tabelul 1-1**.

Cantitatea de energie transferată (sau lucru mecanic efectuat asupra) țesuturilor de către un proiectil este egală cu diferența dintre energia cinetică a glonțului în momentul în care intră în țesuturi și energia cinetică când părăsește țesuturile. Gloanțele sunt extrem de aerodinamice, cauzând foarte puțină perturbare în momentul pasajului prin aer. Într-o oarecare măsură acest lucru este similar cu ce se întâmplă în țesuturi (adică, dacă proiectilul se deplasează cu vârful înainte și intră și iese prin țesuturi, doar o mică parte a energiei cinetice va fi transferată țintei). Caracteristicile distrucției cauzate de-a lungul traiectoriei glonțului sunt împărțite în două componente, cavitația temporară și permanentă. Cavitația temporară este întinderea temporară sau mișcarea țesuturilor centrifug față de traiectoria glonțului. Aceasta poate fi privită ca o zonă de traumatism con-

TABELUL 1-1 Caracteristicile vitezei și ale energiei cinetice pentru diverse arme

Calibru	Viteză (ft/s)	Energie la ieșirea de pe țeavă (ft-lb)
pistoale		
0,25 in.	810	73
0,32 in.	745	140
0,357 in.	1,410	540
0,38 in.	855	255
0,40 in.	985	390
0,44 in.	1,470	1,150
0,45 in.	850	370
9 mm	935	345
10 mm	1,340	425
puști/arme militare		
0,243 Winchester	3,500	1,725
M-16	3,650	1,185
7,62 NATO	2,830	1,535
Uzi	1,500	440
AK47	3,770	1,735

ft = picior = 0,305 m

lb = livră = 0,453 kg

tuziv ce înconjoară traiectoria proiectilului. Cavitația temporară crește în dimensiuni direct proporțional cu creșterea vitezei. Cea mai mare porțiune a cavitației temporare se află la suprafață, acolo unde viteza proiectilului este cea mai mare.¹² Conceptul cavitației temporare a fost utilizat pentru a sprijini ideea debridării extensive în rănilor cauzate de proiectile cu viteze mari. În realitate, observația rănilor posttraumatice pe cale de vindecare și în modelele animale, ce au presupus examinări microscopice a țesuturilor afectate, au arătat că întinderea temporară produsă nu duce la moarte celulară sau distrucție tisulară.¹³ Prin urmare, debridarea în leziunile prin proiectile cu viteză mare ar trebui să fie limitată la țesuturile care prezintă semne clare de devitalizare. Gloanțele pot fi construite astfel încât să crească dimensiunea cavitației permanente produse după lovirea țintei. Acest lucru poate fi realizat în patru moduri, toate acționând prin creșterea interfeței dintre proiectil și țesuturi, ceea ce facilitează transferul de energie cinetică către țintă: (a) girația, devierea proiectilului de la axul longitudinal, în direcția de zbor; (b) rostogolirea, rotație spre anterior în jurul centrului de greutate; (c) deformarea, modificarea formei proiectilului asemănător unei ciuperci, ceea ce duce la mărirea diametrului proiectilului aproximativ de două ori, crescând suprafața lui și astfel aria de contact cu țesutul de patru ori (gloanțele cu vârf gol, cu vârf moale și dum-dum toate favorizează deformarea); (d) fragmentarea, unde mai multe proiectile pot afecta țesuturile în locuri multiple și pot mări distrucția determinată de cavitație. Acest eveniment are loc, de regulă, în cazul gloanțelor cu viteză mare. Gloanțele care nu se fragmentează vor penetra mai adânc, în timp ce gloanțele ce se fragmentează vor afecta o arie transversală mai mare.¹⁴⁻¹⁶ Dacă

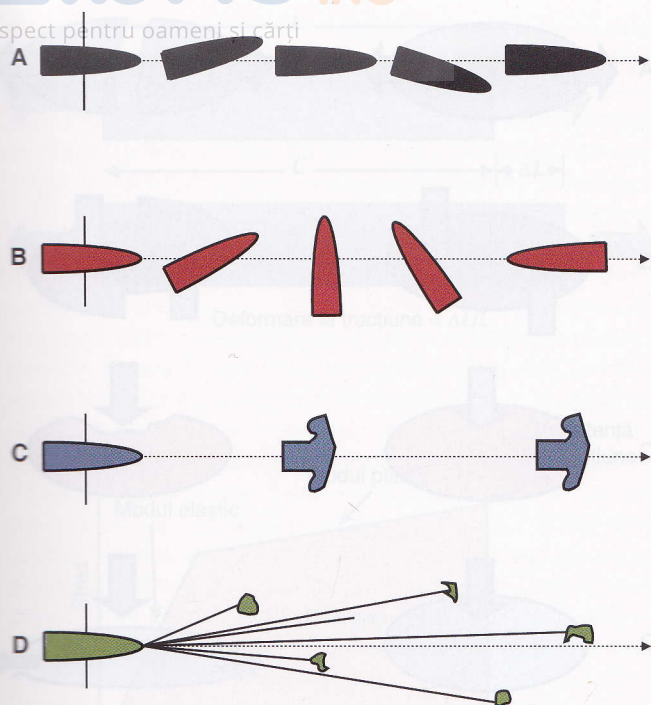


FIGURA 1-2 Girația, rostogolirea, deformarea și fragmentarea. (A) Girația descrie devierea de la linia de zbor de-a lungul axei longitudinale. (B) Rostogolirea constituie devierea în maniera unei „tumbe”. (C) Deformarea are loc în momentul impactului și mărește suprafața proiectilului. (D) Fragmentarea implică împrăștierea glonțului. Toate acestea măresc aria interfeței proiectil/țesut.

proiectilul se deformează, girează, se răstoarnă sau se fragmentează, acesta va cauza mai multă distrucție tisulară. Acest lucru are loc în structurile profunde, nu la suprafață (fig. 1-2). Leziunile cauzate de arme albe au energie foarte joasă, prin urmare produc doar cavitație permanentă. Având în vedere că energia transmisă țesuturilor este mică, leziuni serioase pot surveni doar prin lovirea directă a structurilor vitale precum inima, vasele mari, plămânul sau organele abdominale.

Leziuni prin explozie și iradiere

Transferul de energie ce rezultă în urma exploziilor urmează aceleași legi fizice menționate anterior, dar cuprinde și aspecte particulare ce merită menționate. Transferul de energie ca urmare a unei explozii poate fi înțeles cel mai bine prin prisma mecanicii undelor. Toate tipurile de explozii convenționale au în comun câteva caracteristici, prin faptul că toate presupun o mixtură solidă sau lichidă care, în urma unui proces chimic rapid produce o substanță gazoasă și eliberează cantitate mare de energie. Această eliberare de energie împinge moleculele de gaz rezultat din explozie în atmosferă radial dinspre centrul exploziei, producând o undă sferică de aer comprimat, cunoscută sub numele de undă de șoc, ce este caracterizată prin densitate, presiune și temperatură crescută, față de aerul ambiental. Mișcarea acestor molecule produce așa numitul suflu al exploziei, iar compresia acestor molecule într-un spațiu dat crește densitatea și presiunea. Suprapresiunea suflului se definește ca diferența dintre presiune

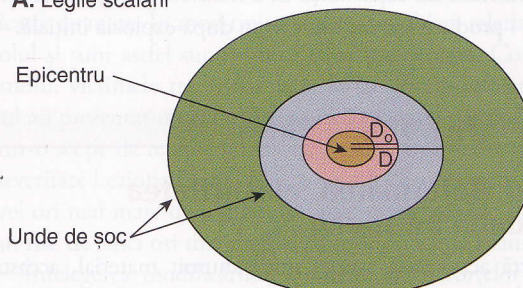
generată la nivelul frontului de undă și presiunea ambientală. Maximul suprapresiunii este o funcție ce depinde de energia eliberată din explozie și de distanța de la punctul detonării, iar descreșterea ei se exprimă ca o funcție scalară¹⁷

$$(W/W_1)^{1/3} = D/D_1$$

unde W/W_1 reprezintă raportul greutatea materialului exploziv iar D/D_1 raportul dintre distanțele de la epicentru. O multitudine de rezultate experimentale arată că dacă un maxim presional este produs de o anumită greutate de exploziv la o anumită distanță, aceeași suprapresiune poate fi obținută cu o greutate mai mică de exploziv la o distanță mai mică și cu o greutate mai mare la o distanță mai mare (fig. 1-3A). Această relație este denumită regula rădăcinii cubice sau regula lui Hopkinson, ce s-a demonstrat valabilă pentru multe din materialele explozive moderne.¹⁸

La orice distanță dată de la epicentru va exista o curbă presiune-timp distinctă cu o creștere bruscă a presiunii. Maximul de suprapresiune este dictat de regula rădăcinii cubice și de declinul presiunii ce variază în funcție de materialul exploziv folosit și de timpul scurs de la frontul de undă inițial. Odată ce unda trece de un anumit punct, faza de presiune pozitivă va fi urmată de o fază de presiune negativă¹⁹ (fig. 1-3B). Presiunea reprezintă forța aplicată pe unitatea de suprafață. Când o forță este aplicată într-un interval de timp, ia naștere un impuls ce are abilitatea de a modifica

A. Legile scalării



B. Relația presiune-timp la orice distanță de la epicentru

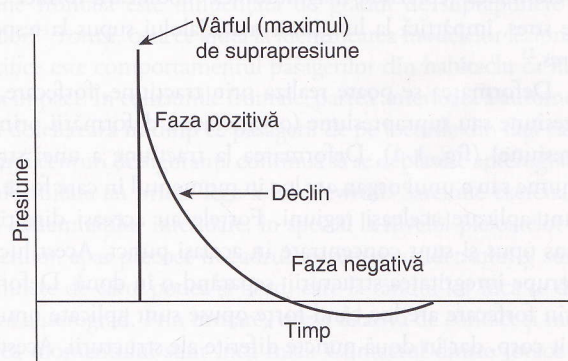


FIGURA 1-3 Caracteristicile fizice ale unei explozii. (A) Legile scalării corelează suprapresiunea la distanțe specifice cu raportul distanțelor de la epicentrul exploziei și cu rădăcina cubică a raportului greutatea corespunzătoare ale materialului exploziv. (B) Relația presiune-timp la orice distanță față de epicentru – vârful de suprapresiune reprezintă frontul de undă trecător cu scădere ulterioară a presiunii până se ajunge la nivelul presiunii ambientale. Aceasta este cunoscută ca faza pozitivă. Unda trecătoare va cauza apoi o scădere a presiunii sub nivelul bazal, ducând la un vid relativ, sau faza de presiune negativă.

momentul. Această forță când este aplicată pe o suprafață are capacitatea de a transfera energie și de a efectua lucru mecanic.

Undele de șoc rezultate din exploziile nucleare prezintă o relație presiune-timp similară, dar faza pozitivă poate dura câteva secunde, în contrast cu durată de câteva milisecunde a muniției convenționale.²⁰ Energia eliberată de o explozie nucleară este de ordinul miilor de ori mai mare decât cea eliberată de muniția convențională, suprapresiunea crescând și ea corespunzător. Energia disponibilă este dictată de către formula echivalenței masă-energie a lui Einstein:²¹

$$E = mc^2.$$

O mare parte a energiei este eliberată sub formă de energie cinetică ce determină caracteristicile undei de șoc. De asemenea, se generează particule subatomice purtătoare de energie înaltă, cum ar fi radiația gamma, care au capacitatea de a determina distrucție la nivel celular. Energia acestor particule este direct proporțională cu frecvența lor (ν)²²

$$E = h\nu,$$

unde h = constanta lui Planck.

Ele pot fi eliberate în momentul exploziei dar și pentru o perioadă de timp după explozie, deoarece producții secundari instabili ai unei explozii nucleare suferă degradare radioactivă. Astfel, o explozie nucleară are capacitatea de a transfera energie unei victime și de a-i produce leziuni mult timp după explozia inițială.

PROPRIETĂȚILE BIOMATERIALELOR

Stresul, deformarea, elasticitatea și modulul lui Young

Când o forță acționează asupra unui anumit material, aceasta este în mod curent denumită stres, și reprezintă forța sau sarcina pe unitatea de suprafață. Acest stres va deforma materialul. Deformarea reprezintă magnitudinea modificării formei cauzată de stres, împărțită la lungimea materialului supus la respectivul stres.²³

Deformarea se poate realiza prin tracțiune, forfecare, compresiune sau suprapresiune (o varietate a deformării prin compresiune) (fig. 1-4). Deformarea la tracțiune a unei structuri anume sau a unui organ are loc în momentul în care forțe opuse sunt aplicate aceleași regiuni. Forțele au aceeași direcție, dar sens opus și sunt concentrate în același punct. Acest lucru întrerupe integritatea structurii, separând-o în două. Deformarea prin forfecare are loc când forțe opuse sunt aplicate unui anumit corp, dar în două puncte diferite ale structurii. Acest lucru poate fi cauzat de o aplicare de forțe externe de sens opus sau poate surveni din diferența relativă de modificare a momentelor în cadrul unei singure structuri, sau între două structuri ce sunt ancorate una de cealaltă.²⁴

Deformarea la compresiune reprezintă deformarea directă ce rezultă în urma unui impact. Energia asociată unei anumite forțe efectuează lucru mecanic asupra structurii, producând o leziune de tip strivire, ducând la deformarea și întreruperea integrității structurii organului lezat. Suprapresiunea este un tip de deformare prin compresiune ce se aplică unei cavități umplute cu

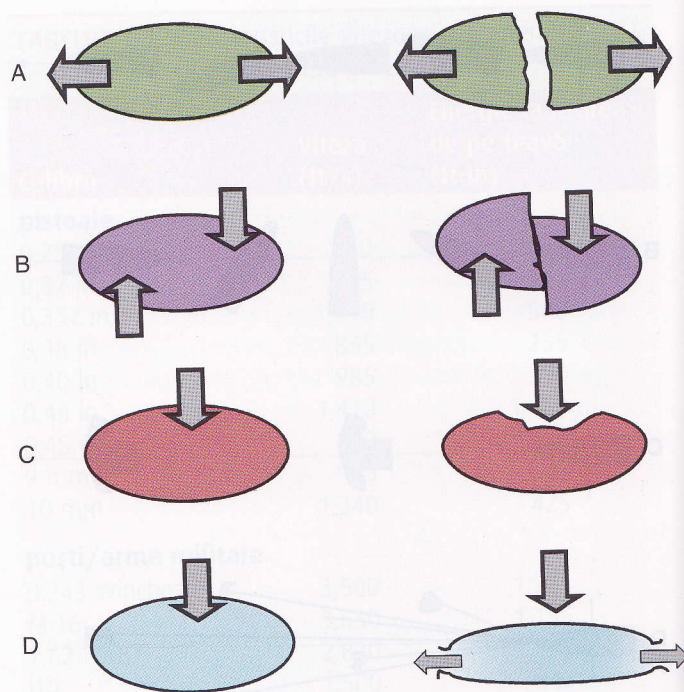


FIGURA 1-4 Mecanismele biomecanice ale traumatismelor. (A) Deformarea la tracțiune - forțe opuse trag de-a lungul aceiași axe. (B) Deformarea prin forfecare - forțele acționează prin compresie sau întindere în direcții opuse, dar nu de-a lungul aceiași axe. (C) Deformarea la compresiune - stresul aplicat unei structuri determină de regulă o deformare simplă. (D) Suprapresiunea - forța compresivă mărește presiunea la nivelul unui organ, determinând depășirea „punctului de rupere” al peretelui.

lichid sau gaz. Energia aplicată organului umplut cu gaz sau lichid poate deforma respectiva structură, determinând o reducere a volumului structurii. Corespunzător legii lui Boyle:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Produsul dintre presiune și volum anterior acțiunii forței trebuie să fie egal cu produsul după aplicarea respectivei forțe.⁴ Astfel, o scădere a volumului inițial va determina o creștere a presiunii din interiorul viscerului implicat. Dacă mărirea presiunii, care reprezintă o forță, depășește rezistența la tracțiune a respectivului organ, acesta se va rupe.²⁵

În reprezentarea grafică concomitentă a stresului și a deformării se pot observa anumite aspecte clare și distincte ale curbei de deformare. Modulul elastic reprezintă acea parte a curbei în care forța nu determină deformare permanentă, iar un material este descris ca fiind mai elastic dacă poate reveni cu o mai mare exactitate la forma inițială după încetarea aplicării forței.²⁶ Porțiunea curbei ce urmează modulului elastic este denumită modul plastic și arată situația când un stres aplicat va cauza deformare permanentă.²⁷ Rezistența la tracțiune, compresiune și forfecare este reprezentată de către nivelul de stres la care apare ruptura sau fractura.²⁸ Acesta este cunoscut și sub numele de „punct de rupere”. Aria de sub curbă reprezintă cantitatea de energie aplicate pentru a obține stresul și deformarea corespunzătoare (fig. 1-5).²⁹

Capacitatea unui țesut de a tolera un anumit traumatism variază în funcție de tipul forței aplicate și cu tipul de țesut afectat. În traumatismele contuzive și deschise, cu cât densitatea unui anu-

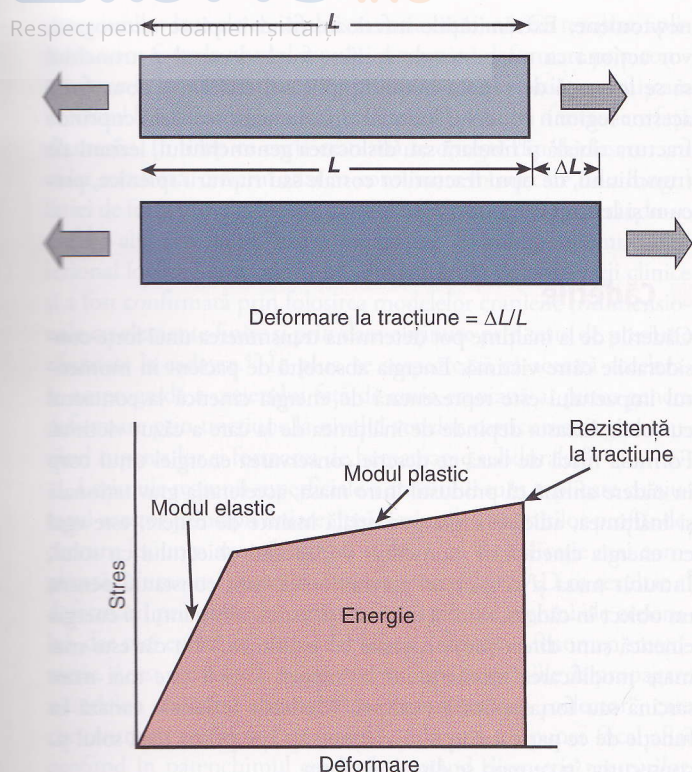


FIGURA 1-5 Conceptele de stres, deformare, modul elastic, modul plastic, rezistență la tracțiune și energie, demonstrate prin aplicarea unui stres prin tracțiune asupra unei structuri. Deformarea la tracțiune reprezintă modificarea lungimii determinată de stres, împărțită la lungimea inițială. Acest concept este aplicabil și în cazul deformării la compresiune și prin forfecare. În cadrul relației stres/deformare, modulul elastic reprezintă acea porțiune a curbei în care nu se produce o deformare permanentă, spre deosebire de modulul plastic în care, la atingerea rezistenței la tracțiune, se produce fractură sau ruptură. Energia aplicată este reprezentată de aria de sub curbă.

mit țesut este mai mare, cu atât elasticitatea lui este mai mică și cu atât mai multă energie este transmisă țesutului în momentul coliziunii. Plămânul este umplut cu aer și foarte elastic. În traumatisme contuzive de energie joasă, energia are tendința de a se disipa cu ușurință în structura plămânului, în timp ce în traumatismele deschise penetrante distrucția cauzată de cavitația permanentă și alungirea determinată de cavitația temporară sunt mai bine tolerate datorită elasticității plămânului. În contrast, organele solide cum ar fi splina, ficatul sau osul tind să absoarbă energia și drept consecință vor suferi distrucții mai mari.³⁰ În leziunile cauzate de explozii, structurile pline cu aer precum plămânul și ansele intestinale sunt cele mai predispuse lezării, din cauza capacității lor de a transmite unda de șoc și de a determina creșteri presionale locale care depășesc punctul de rupere structural al respectivului organ.²⁰

MECANISMELE TRAUMATISMELOR CONTUZIVE ȘI MODELE LEZIONALE

Transferul de energie și acțiunea forțelor în traumatismele contuzive sunt de regulă mult mai complexe decât în traumatismele deschise. Cele mai frecvente cauze de producere a traumatismelor contuzive sunt accidentele de circulație, accidentele pietonale și căderile de la înălțimi mari. În aceste situații există în mod caracte-

ristic fluctuații ale energiilor și forțelor, atât la nivelul victimei cât și al agentului vulnerant. Alte variabile ce complică abordarea terapeutică sunt reprezentate de aria mare pe care se dispersează energia, comparativ cu traumatismele deschise și multiplele arii de contact ce pot direcționa energia spre diferite regiuni ale corpului victimei. Interacțiunile și direcțiile acestor linii de forță și dispersia energiei sunt de regulă esențiale pentru determinarea unor leziuni specifice.

Accidentele de circulație

Deși există vectori de împrăștiere pentru transferul de energie și forță la victimele unui accident rutier, mortalitatea este direct proporțională cu cantitatea totală de energie și forță prezente. Mortalitatea în urma accidentelor rutiere este secundară în mare parte coliziunilor frontale, cu o rată a mortalității de până la 60%. Coliziunile laterale (20–35%) și răsturnările (8–15%) au rate de mortalitate mai reduse, iar coliziunile din spate prezintă cea mai mică rată (3–5%).³¹⁻³² Accidentele cu răsturnare au o mortalitate mai mică decât ne-am așteptat, datorită faptului că momentul este disipat, iar forțele generate și proiectate spre habitacul au un tipar aleator care în mod frecvent implică multiple părți diferite ale automobilului. Deși există anumite forțe și modele de transfer energetic ce iau naștere într-un accident de circulație, autovehiculul în sine oferă un anumit grad de protecție față de forțele directe generate de coliziune. Pacienții ce sunt proiectați din mașină au viteza vehiculului în momentul proiectării și un moment semnificativ de mare. În mod tipic ei lovesc un obiect relativ imobil sau solul și sunt astfel supuși unor forțe importante. Conform unui studiu, victimele traumatismelor ce au fost proiectate din vehicul au prezentat un risc de 4 ori mai mare de a necesita internare într-o secție de terapie intensivă, o creștere de 5 ori a Scorului de Severitate Lezională (ISS, Injury Severity Score) mediu, un risc de trei ori mai mare de a suferi traumatisme cerebrale importante și un risc de cinci ori mai mare de a muri în urma leziunilor.³³

Înțelegerea modificărilor momentului, a forțelor generate și a modelelor de transfer energetic între vehiculele ce se ciocnesc este importantă. De exemplu, direcția rezultantă a forțelor într-o coliziune frontală este influențată de gradul de suprapunere a mașinilor.³⁴ Totuși, ceea ce ajută la identificarea modelelor lezionale specifice este comportamentul pasagerilor din habitacul ca răspuns la impact. În coliziunile frontale, partea anterioară a automobilului decelerează în timp ce pasagerii de pe locurile din față care nu poartă centuri de siguranță continuă să se deplaseze anterograd, în conformitate cu prima lege a lui Newton. Sarcinile exercitate asupra extremităților inferioare, în special la nivelul picioarelor și genunchilor, apar precoce în cadrul secvenței accidentului și sunt determinate de către podea și bord, care la rândul lor încă se deplasează anterograd. Prin urmare, viteza relativă de contact și modificarea momentului sunt încă mici. Contactul dintre torace și cap cu volanul și respectiv cu parbrizul se produce mai târziu în secvența accidentului; astfel vitezele de impact, decelerarea, modificarea momentului și forța impactului sunt mai mari.^{31,35}

Tipul leziunilor produse este dependent de traiectoria victimei. Aceasta poate aluneca în jos și sub volan și bord. În acest mod genunchii vor lovi primii bordul, cu dislocare posterioară și lezarea consecutivă a arterei poplitee. Următorul punct de impact este abdomenul superior sau pieptul. Compresia și continuarea mișcării organelor solide poate determina lacerări la nivelul ficatului sau al splinei.

Compresia toracelui poate duce la fracturi costale, contuzii cardiace sau pneumotorax secundar spargerii plămânului similar unei pungi de hârtie. În cele din urmă, oprirea bruscă poate produce forțe de forfecare la nivelul regiunii proximale a aortei descendente, ducând la o ruptură parțială sau completă a acesteia. Cealaltă direcție frecventă pe care poate fi proiectat șoferul este în sus și peste volan. În acest context, capul devine punctul cel mai avansat și lovește primul parbrizul conducând la leziuni cu tipar radial. Creierul poate suferi o contuzie directă sau poate realiza o mișcare oscilantă în interiorul craniului determinând fenomene de forfecare cerebrală și leziuni de contralovitură. Odată ce capul lovește parbrizul și se oprește, forțele sunt transferate către gât, care poate suferi leziuni de hiperflexie, hiperextensie sau compresiune, depinzând de unghiul de impact. Odată ce capul și gâtul se opresc, toracele și abdomenul lovesc volanul, suferind leziuni asemănătoare celor descrise pentru traiectoria „în jos și dedesubt”.

Coliziunile laterale, în mod specific cele ce se produc în dreptul unui ocupant, pot fi devastatoare din cauza distanței mici dintre mașina care lovește și pasager. Prin urmare, rezistența exercitată pentru a scădea momentul mașinii care izbește, anterior contactului cu ocupantul, este limitată. Dacă partea laterală a mașinii oferă doar o rezistență minimă, ocupantul poate fi expus întregii modificări a momentului mașinii care lovește. Aceste sarcini sunt aplicate de regulă asupra fețelor laterale ale toracelui, abdomenului și pelvisului și prin urmare, leziunile toracice și abdominale sunt mai frecvente în coliziunile laterale decât în cele frontale.³⁵ Leziunile toracice cuprind fracturi costale, voietul costal și contuzia pulmonară. Compresiunile laterale produc frecvent leziuni hepatice, splenice și renale. De asemenea, capul femural poate fi înfundat prin acetabul.

Coliziunile din spate sunt clasice asociate cu leziuni tip bicicletă și sunt un bun exemplu al aplicării primei legi a lui Newton. În momentul în care mașina victimei este lovită din spate, corpul, sprijinit de scaun, suferă o accelerație anterogradă și o modificare a momentului, ceea ce nu se întâmplă și la nivelul extremității cefalice. Inerția capului tinde să-l mențină într-o poziție de repaus. Mișcarea spre înainte a trunchiului generează o mișcare retrogradă relativă a capului, ducând la hiperextensia gâtului. În mod similar, acest model lezional se poate regăsi în coliziunile frontale, unde o decelerare bruscă a trunchiului combinată cu continuarea mișcării anterograde a capului este urmată de o basculare posterioară, ca rezultat al reculului.^{36,37}

Traumatismele pietonale

Traumatismele pietonale urmează în mod frecvent un model binecunoscut, ce depinde de dimensiunea vehiculului și a victimei. Aproximativ 80% dintre adulții accidentați de un autovehicul vor avea leziuni la nivelul extremităților inferioare. Acest lucru este în mod intuitiv evident, având în vedere faptul că bara de protecție a unei mașini se găsește la același nivel cu genunchii victimei, acesta fiind și punctul primului contact în desfășurarea coliziunii. O victimă lovită de către un camion, sau un alt vehicul cu centru de greutate mai înalt, va avea cel mai frecvent leziuni importante la nivelul toracelui și al abdomenului, din cauza faptului că forța inițială este aplicată acestor zone. În cadrul interacțiunii dintre pieton și mașină, forțele aplicate în zona genunchilor determină o accelerație a porțiunii inferioare a corpului, accelerație absentă la nivelul trunchiului și extremității cefalice, ce au tendința de a rămâne în repaus, conform primei legi

newtoniene. Extremitățile inferioare fiind împinse anterograd, vor acționa ca un punct de sprijin, forțând capul și trunchiul să se lovească de capota mașinii, aplicând astfel o a doua forță acestor regiuni. Modelul lezional tipic în acest scenariu cuprinde fractura tibială și fibulară sau dislocarea genunchiului, leziuni ale trunchiului, de tipul fracturilor costale sau rupturii splenice, precum și leziuni cerebrale.^{38,39}

Căderile

Căderile de la înălțime pot determina transmiterea unei forțe considerabile către victimă. Energia absorbită de pacient în momentul impactului este reprezentată de energia cinetică la contactul cu solul. Aceasta depinde de înălțimea de la care a căzut victima. Formula fizică de bază ce descrie conservarea energiei unui corp în cădere afirmă că produsul între masa, accelerația gravitațională și înălțimea, adică energia potențială înainte de cădere, este egal cu energia cinetică în momentul impactului obiectului cu solul. Întrucât masa și accelerația gravitațională sunt constante pentru un obiect în cădere, rezultă că viteza și, astfel, momentul și energia cinetică sunt direct proporționale cu înălțimea.⁴ Cu cât este mai mare modificarea momentului la impact cu atât este mai mare sarcina sau forța aplicată victimei. Modelele lezionale variază în funcție de ce parte a corpului victimei lovește prima dată solul și, consecutiv, în ce mod se distribuie forța.

Pacientul tipic, care suferă leziuni traumatice consecutiv unei căderi, cade de la o înălțime medie de aproape 20 de picioare. În cadrul unui studiu prospectiv al modelelor lezionale s-au rezumat efectele căderilor de la înălțimi variind între 5 și 70 de picioare. 76.2% din totalul leziunilor au fost reprezentate de fracturi, 19-22% din victime suferind o fractură de coloană vertebrală și 3,7% dezvoltând ulterior deficit neurologic.⁴⁰ Aproape 6% din pacienți au prezentat leziuni intraabdominale, majoritatea necesitând tratament chirurgical pentru leziuni de organ parenchimatous. Perforația intestinală sau vezicală a fost constatată la mai puțin de 1% din cazuri.⁴¹

CONSIDERAȚII ANATOMICE

Leziunile extremității cefalice (Leziunile cerebrale și maxilofaciale)

Majoritatea traumatismelor craniocerebrale închise au drept cauză accidente rutiere, având o incidență de aproximativ 1,14 milioane de cazuri pe an în SUA.^{42,43} Severitatea leziunii cerebrale traumatice constituie factorul cel mai important al mortalității și morbidității posttraumatice și poate contribui independent la mortalitate în contextul coexistenței unor leziuni extracranice.^{37,44,45} Cunoștințele actuale despre biomecanica leziunilor cerebrale provin de la o combinație de experimente efectuate pe modele craniene porcine, sisteme radiologice biplanare de mare viteză și modele computerizate cu elemente finite.⁴⁶

Există o multitudine de mecanisme ce sunt cuprinse sub termenul generic de leziune cerebrală traumatică. Toate reprezintă consecințe ale sarcinilor aplicate la nivelul capului ce determină diferite forțe de decelerare între componentele creierului. Contuzia cerebrală poate fi rezultatul impactului și al deformării asociate prin compresiune directă. Componenta indirectă a leziunii cerebrale, ce se dezvoltă de partea opusă impactului, este cunoscută sub denumirea de leziune de contralovitură. Aceasta apare din cauza

conexiunilor laxe ale creierului cu cutia craniană. Ca rezultat, aplicarea unor forțe la nivelul capului determină deformare prin compresiune la locul de impact, imprimând cutiei craniene o mișcare în sensul liniei de forță, în timp ce creierul prezintă o întârziere față de craniu. În timp ce cutia craniană se oprește din deplasare, sau chiar reculează, creierul aflat în continuare în mișcare de-a lungul liniei de forță inițiale, lovește craniul în partea opusă, generându-se astfel o altă deformare prin compresiune. Existența mecanismului lezional lovitură-contralovitură este susținută de observații clinice și a fost confirmată prin folosirea modelelor craniene tridimensionale cu elemente finite și prin date obținute prin teste de presiune efectuate la cadavre.⁴⁷ În plus, se suspectează că această accelerație anterogradă a creierului față de cutia craniană ar putea genera deformare prin tracțiune la nivelul venelor corticomeningee, cauzând ruperea lor și formarea de hematoame subdurale.⁴⁸

Leziunile regiunii superficiale a creierului sunt explicate cu ajutorul acestor principii liniare; însă, leziunile structurilor profunde, precum leziunea axonală difuză (LAD), au o explicație mai complicată. Numeroși autori au încercat să explice LAD ca rezultat al deformării prin forfecare apărută între diferite regiuni ale creierului, dar mai există un alt model lezional denumit fenomen stereotactic. Acest model se bazează mai mult pe principiile de propagare a undelor, utilizând concavitatea craniului ca un „colector”, care concentrează multiple fronturi de undă într-un punct focal aflat profund în parenchimul cerebral, cauzând distrucția țesuturilor, chiar și în condițiile unor leziuni minime la nivelul suprafeței cerebrale.⁴⁹ Această „propagare a undelor” prin structurile profunde ale creierului, ca de exemplu prin sistemul reticulat activator ascendent, cu întreruperea consecutivă a integrității structurale, se consideră a fi responsabilă pentru pierderea conștienței, care reprezintă semnul de gravitate cel mai frecvent întâlnit în urma contuziilor cerebrale.⁵⁰ Studiile actuale caracterizează LAD ca pe un proces progresiv indus de forțele lezionale, evoluând treptat de la alterare axonală focală până la deconexiune. Permeabilizarea axolemalei focale indusă traumatic duce la influxul local de Ca^{2+} determinând eliberarea de proteaze ce lizează „scheletul membranei”. Acest fapt duce în cele din urmă la disfuncție axonală locală și deconexiune.⁵¹ Leziunea secundară deformării prin forfecare este lacerția sau contuzia trunchiului cerebral. Aceasta se explică prin forțe de sens opus aplicate creierului și măduvei spinării, forțe ce sunt perpendiculare pe axul sistemului nervos, măduva și trunchiul cerebral fiind relativ fixe față de creier, care este mai mobil.

Leziunile traumatice maxilofaciale sunt asociate traumatismelor craniocerebrale în ceea ce privește mecanismele implicate și sunt frecvente după accidente de circulație. Vectorii clasici ai forțelor ce determină fracturi faciale localizate pe linia mediană sunt similari cu cei ce determină leziuni traumatice cerebrale și iau naștere atunci când ocupanții autovehiculului lovesc volanul, bordul sau parbrizul. Aproape toate aceste subtipuri de leziuni apar secundar deformării prin compresiune. Acest mecanism asociază cea mai mare morbiditate pentru șofer și pentru pasagerul din față, în timp ce pentru pasagerii din spate aceste forțe sunt atenuate datorită impactului cu scaunele din față, care sunt mai elastice.

Traumatismele toracice

Mecanismul principal al traumatismelor toracice închise implică înfundarea peretelui toracic în momentul impactului. Leziunea toracică musculoscheletală este dependentă atât de amplitudinea cât și de rata deformării peretelui toracic și apare

de regulă secundar unei deformări prin compresiune determinată de sarcina exercitată. Modelele lezionale pentru organele interne toracice reflectă de regulă interacțiunea dintre organele fixe și cele relativ mobile și compresibile. Această organizare anatomică permite apariția de diferențe ale momentului între structuri adiacente, care duc la generarea unor stresuri de compresiune, tracțiune și forfecare.

Acțiunea unei forțe contuzive la nivelul toracelui duce la deformarea sternului și la compresia cutiei toracice. În funcție de forța și de rata de impact într-o coliziune, coastele se pot fractura ca urmare a deformării prin compresiune apărute la nivelul suprafeței externe și deformării la tracțiune consecutive la nivelul feței interne. Pot apărea și fracturi indirecte datorită concentrării stresului la nivelul unghiurilor laterale și posterolaterale ale coastelor. În plus, undele de stres se pot propaga spre profunzime determinând distorsiuni mici și rapide sau forțe de forfecare la nivelul unui organ cu diferențe presionale semnificative de-a lungul suprafeței sale parenchimatose (adică, interfața aero-tisulară a plămânului). Se consideră că acesta ar fi mecanismul responsabil de apariția contuziei pulmonare.

Contuzia cu înfundarea hemitoracelui și depresibilitatea plămânului ar putea de asemenea să ducă la suprapresiune și să determine pneumotorax. Sarcina directă aplicată toracelui comprimă plămânul și crește presiunea la nivelul structurilor umplute cu aer, depășind punctul de rupere al alveolelor și al pleurei viscerale. Acest mecanism al suprapresiunii poate fi întâlnit și la nivelul organelor umplute cu lichid (sânge) în loc de aer, ca de exemplu în ruptura cardiacă contuzivă. Cine-radiografia de mare viteză efectuată la un model porcine de contuzie toracică anterioară a demonstrat că inima poate fi comprimată până la jumătate din diametrul anterior accidentului, cu dublarea presiunii din cavitățile cardiace.⁵² Dacă se atinge limita de rezistență, se produce ruptura cu rezultate dezastruoase.

Există numeroase exemple de leziuni indirecte secundare mișcării asincrone a structurilor adiacente, conectate și apariției forțelor de forfecare la nivelul zonelor de fixare.⁵³ Traumatismele vasculare mediastinale și cele bronșice reprezintă exemple ale acestui mecanism. Ruptura sau transecția aortei descendente toracice reprezintă un exemplu clasic de leziune prin decelerare produsă de forțele de forfecare. Această leziune poate apărea în coliziuni frontale sau laterale și se produce din cauza continuării mișcării cordului mobil și compresibil în raport cu aorta, care este ancorată la structuri mai fixe.⁵⁴ În coliziuni frontale și laterale cordul se deplasează corespunzător unei mișcări orizontale în raport cu aorta, care este fixată de coloana vertebrală prin ligamente. Acest fapt determină apariția unei forțe de forfecare la nivelul ligamentului arterial. Când stresul este aplicat pe direcție verticală, ca de exemplu în căderile de la înălțime în care victima aterizează în picioare, diferența relativă dintre momentele structurilor acționează în plan vertical, fiind generată o deformare prin tracțiune la nivelul rădăcinii aortei ascendente toracice (fig. 1-6). Leziunile traumatice ale bronhiilor primare reprezintă un alt exemplu pentru acest mecanism. Plămânul relativ compresibil și mobil generează o diferență a momentului, în plan orizontal sau vertical în funcție de sarcina aplicată, față de traheea și carina ancorate. Acest eveniment creează o forță de forfecare la nivelul bronhiilor principale și explică de ce majoritatea leziunilor bronșice contuzive se produc în primii 2 cm sub carină (fig. 1-7).

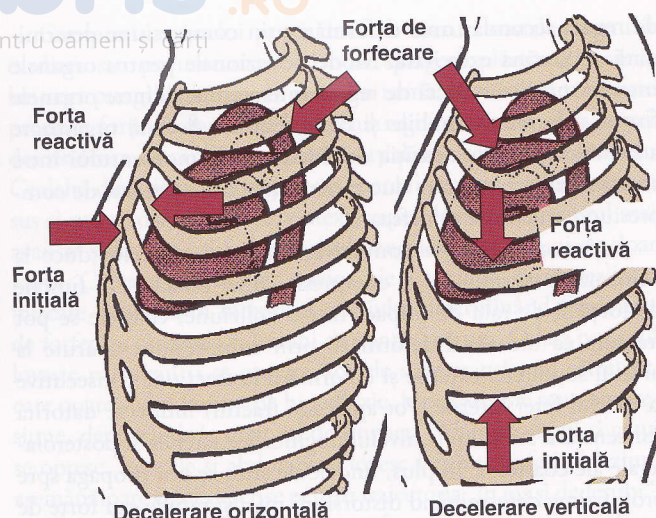


FIGURA 1-6 Diferite mecanisme lezionale în traumatismele aortei toracice. În cazul decelerării orizontale, cordul și crosa aortei se distanțează în plan orizontal de aorta descendentă, determinând deformare prin forfecare și ruptură la nivelul corespunzător ligamentului arterial. Decelerarea verticală determină deplasarea caudală a cordului, determinând deformarea rădăcinii aortei ascendente.

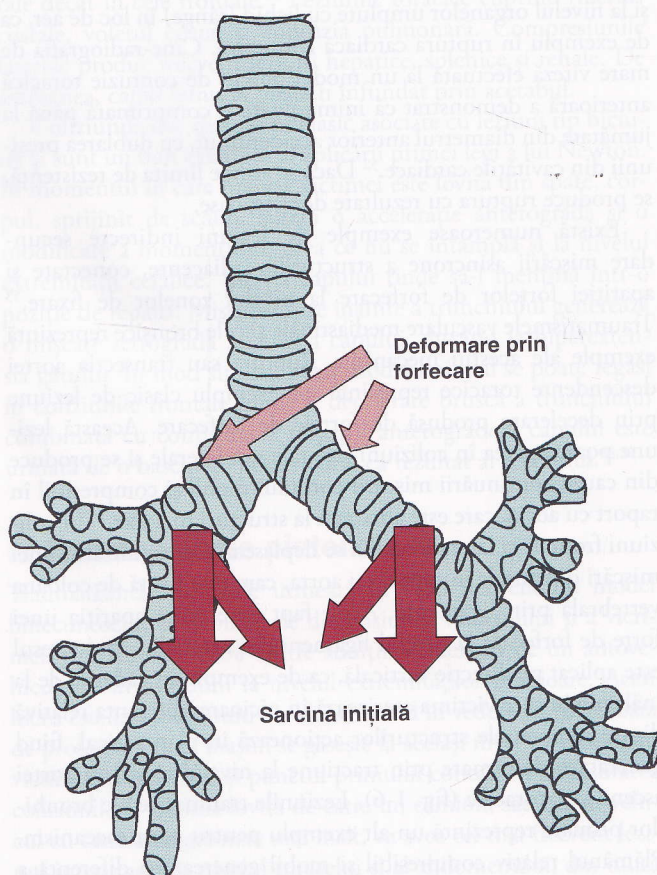


FIGURA 1-7 Mecanisme lezionale în traumatismele bronhiilor. Carina este ancorată la mediastin și la complexul spinal în timp ce plămânii sunt foarte mobili, determinând apariția deformării prin forfecare la nivelul bronhiilor principale în cazul unei decelerări orizontale sau verticale.

Traumatismele abdominale

Organele abdominale sunt mai vulnerabile decât cele toracice din cauza lipsei de protecție oferite de coaste și stern. O serie de mecanisme diferite explică spectrul de leziuni observat în traumatismele abdominale contuzive. În ceea ce privește organele abdominale parenchimatoase, pentru majoritatea leziunilor observate la nivel hepatic, splenic și renal sunt responsabile forțe compresive directe ce au ca rezultat distrucție parenchimului. Deformarea prin forfecare poate și ea să contribuie la lacerarea acestor organe. Ca și la descrierea anterioară a forțelor de deformare, este necesar un punct de fixare pentru a crește diferența dintre mișcările structurilor. Acest eveniment se poate petrece la nivelul hilului splenic, determinând ruptura pediculului vascular, sau la nivelul ligamentelor de fixare la rinichi și la diafragm. La nivel hepatic forțele de forfecare sunt generate la nivelul inserției ligamentului falciform în plan anterior și la nivelul venelor hepatice în plan posterior, explicând leziunile parenchimatoase de la acest nivel. O altă leziune importantă ce poate fi explicată prin acest mecanism este leziunea arterei renale. Aceasta este atașată proximal la aorta abdominală, care este destul de imobilă datorită structurilor de fixare la coloana vertebrală, iar distal la rinichi, care prezintă o mai mare mobilitate. Discrepanța momentelor celor două structuri va genera forțe de forfecare asupra arterei renale, determinând lezarea ei.⁵⁵ Aceași relație cu coloana vertebrală se regăsește la nivelul pancreasului (fig. 1-8). Coloana relativ imobilă și coada pancreasului mobilă predispun la apariția unei diferențe dintre momentele celor două în condiții de decelerare, ducând la frac-

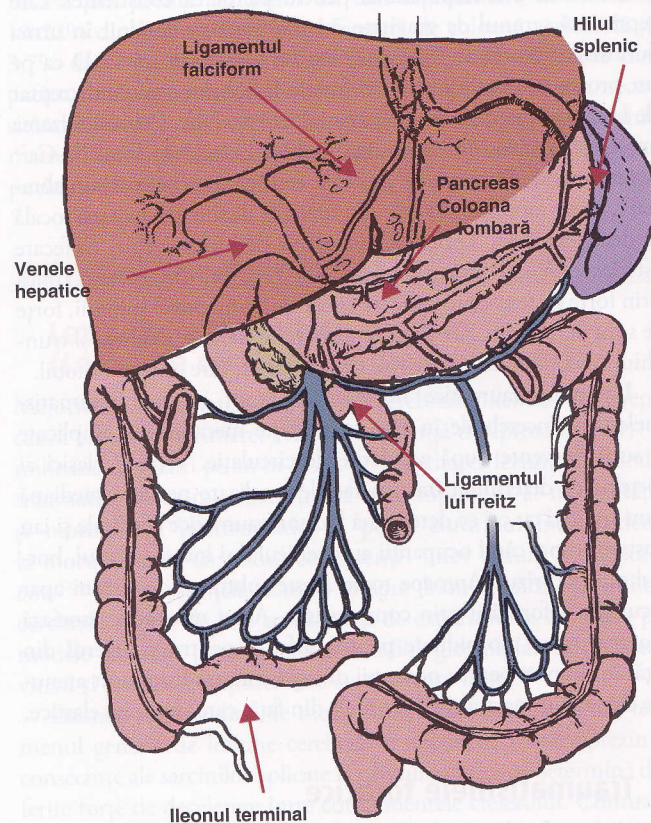


FIGURA 1-8 Punctele de deformare prin forfecare în contuziile abdominale. Toate aceste puncte apar acolo unde o structură relativ fixă este adiacentă unei structuri mobile.

Respirația gâtului sau corpului pancreasului. Biomecanica acestor leziuni sugerează că toleranța corpului la asemenea forțe scade odată cu creșterea vitezei de impact, cu apariția unor leziuni mai importante în cadrul coliziunilor la viteze mari.²⁹

Perforația de organ cavitat în traumatismele abdominale contuzive se produce la aproximativ 3% din victime.⁵⁶ Cauza exactă constituie un subiect de dezbateră. Unii consideră că are legătură cu forțele compresive, ce determină efectiv o „explozie” prin generarea unei suprapresiuni semnificative, în timp ce alții consideră că ar fi secundară deformărilor prin forfecare. Ambele explicații sunt plauzibile, iar observațiile clinice susțin respectivele concluzii. Majoritatea leziunilor intestinului subțire se produc în limitele a 30 cm de la ligamentul lui Treitz sau de la valvula ileocecală, susținând teoria forțelor de forfecare⁵⁷ (fig. 1-8). Totuși, există leziuni care apar la distanță de aceste puncte de fixare. De asemenea, unele experimente au constatat că o „pseudo-obstrucție” sau o ansă închisă temporar supuse unei sarcini pot dezvolta presiuni de explozie, așa cum se descrie în teoria suprapresiunii.⁵⁸ Clinic, această teorie este confirmată de faptul că majoritatea leziunilor intestinului subțire aparțin varietății „explozie”.⁵⁹ Cel mai probabil, ambele mecanisme propuse sunt aplicabile în cazuri individualizate. Cel mai frecvent exemplu pentru modelul implicând pseudo-obstrucție este ruptura prin contuzie a duodenului, unde pilorul și poziționarea retroperitoneală pot preveni evacuarea adecvată a gazului, determinând presiuni mari ce depășesc rezistența peretelui.

Un alt exemplu important referitor la suprapresiune este ruptura de diafragm. Cavitata peritoneală este și ea supusă legii lui Boyle, care afirmă că volumul unui gaz este invers proporțional cu presiunea. O forță contuzivă mare, precum cea asociată impactului cu volanul, aplicată peretelui abdominal anterior va determina o deformare temporară și o scădere de volum a cavității peritoneale. Consecutiv presiunea abdominală va crește. Cel mai slab punct al cavității este diafragma, partea stângă constituind calea preferențială de eliberare a presiunii întrucât ficatul absoarbe o parte din presiune și protejează hemidiafragma drept. Deformabilitatea relativă a plămânului de cealaltă parte a diafragmului facilitează acest eveniment.

Traumatismele musculoscheletale

De departe, cel mai frecvent tip de traumatisme închise în țările industrializate este reprezentat de traumatismele sistemului musculoscheletal. Raportul dintre intervențiile chirurgicale ortopedice și cele de chirurgie generală, toracică și neurochirurgicale este de aproape 5:1. Așa cum s-a menționat anterior, centurile de siguranță și pernele de aer au redus foarte mult incidența traumatismelor intracraniene și abdominale majore, dar nu au redus incidența traumatismelor musculoscheletale. Deși de regulă acestea nu sunt fatale, ele necesită frecvent intervenții chirurgicale de reparare și recuperare și pot lăsa o proporție semnificativă din pacienți cu dizabilități permanente.⁶⁰ Odată cu apariția legilor privind purtarea centurii de siguranță, îmbunătățirea sistemelor de limitare a mișcării și introducerea pernelor de aer în autovehicule, a crescut, în special, incidența traumatismelor extremităților inferioare. Se consideră că acești pacienți în trecut este posibil să fi suferit traumatisme fatale cerebrale sau la nivelul trunchiului și, prin urmare, fracturile asociate de femur, tibie și fibulă să nu fi fost incluse în lista de leziuni.

Tipul și amploarea leziunilor traumatiche sunt determinate de momentul și energia cinetică asociate impactului, caracteristicile tisulare și unghiul stresului aplicat extremităților. Traumatismele de energie înaltă pot determina pierdere extensivă de țesuturi moi, afectare neurovasculară asociată și fracturi cu cominuție mare. Traumatismele de energie joasă sunt soldate frecvent cu strivire sau avulsie de țesuturi moi asociate fracturilor simple. Traumatismele țesuturilor moi sunt de regulă secundare deformării prin compresiune, ca de exemplu traumatismele prin strivire. În cazul leziunilor de genul dezmănușării sau avulsiei sunt prezente mecanisme de tipul deformării prin tracțiune și respectiv prin forfecare.

Majoritatea a ceea ce este scris despre traumatismele musculoscheletale implică fracturile oaselor lungi. Deși fiecare fractură este probabil o consecință a multor tipuri de stresuri și deformări, există patru biomecanisme de bază responsabile pentru acestea (fig. 1-9). În cazul aplicării unei sarcini laterale la nivelul mijlocului diafizei unui os lung, va rezulta o arcuire și va apărea o deformare prin compresiune la nivelul cortexului osos, acolo unde este aplicată sarcina. Cortexul de pe partea opusă va suferi deformare prin tracțiune, osul arcuindu-se în direcția opusă aplicării sarcinii. Inițial apar fracturi mici în cortexul supus

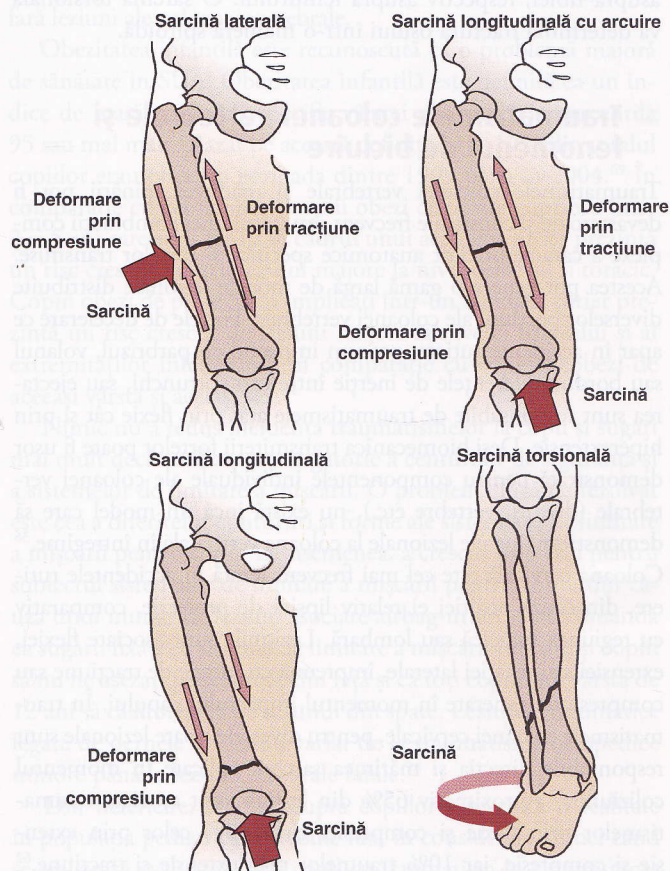


FIGURA 1-9 Mecanica fracturilor. O sarcină laterală ce determină „arcuire” va duce la apariția unei deformări prin tracțiune la nivelul cortexului opus forței și a unei deformări prin compresiune la nivelul cortexului adiacent. În cazul unui stres longitudinal care determină „arcuire”, apare un tipar similar al deformării. Dacă nu se produce arcuirea, deformarea este în întregime compresivă. O sarcină torsională va determina o fractură spiroidă.