

Paano Nagagamot at Nagre-remodel ang Butong

Ang pahinang ito ay isinalin ng makina at hindi pa nasusuri ng isang doktor. Ang **bersyong Ingles** ang siyang opisyal.

Ang buto ay tila matibay at permanenteng materyales, ngunit ito ay buhay na tisyu, na may mga cell at blood vessels, at araw-araw itong binubuo at binabago. Dahil dito, ang nasirang buto ay maaaring mag-ugnay at muling maging kasing lakas ng dati. Ang paggaling ay sumusunod sa isang maayos na proseso, at mas matagal kaysa sa inaasahan ng karamihan, kaya ang pag-unawa sa pattern ay nagpapagaan ng paghihintay. Ang pahinang ito ay naglalarawan, sa simpleng wika, kung ano ang buto at kung paano ito gumagaling; at para sa mga interesado, mas malalim pa ito tungkol sa biyolohiya, kabilang ang kung paano ito nagre-remodel at kung ano ang nangyayari kapag ang mekanismo ay ginamit laban sa buto.

Ano ang buto at ano ang kanyang ginagawa

Ang buto ay may maraming tungkulin sabay-sabay. Ito ang **scaffolding** o balangkas ng katawan: ang frame na nagtutulak sa iyo at kung saan humihila ang mga kalamnan para gumalaw ka. Ito ang **armour** o kalasag, na nagpoprotekta sa utak, puso, at baga. At ito ay isang **storehouse** o imbakan ng mga mineral, lalo na ang calcium, na palaging kinukuha ng ibang bahagi ng katawan.

Upang makagawa ng lahat ng ito, ang buto ay isang composite material, medyo katulad ng reinforced concrete. Ang isang flexible na protein mesh (karamihan ay **collagen**) ang nagbibigay sa ito ng katatagan na bahagyang yumuko nang hindi nababasag, at ang isang matigas na **mineral** (isang calcium-phosphate crystal) na nakapacked sa mesh na iyon ang nagbibigay sa ito ng stiffness at compressive strength. Kukuhinin mo ang mineral at ang buto ay rubbery; kukuhinin mo ang collagen at ang buto ay brittle na parang chalk. Kailangan mo ng pareho.

Ngunit hindi inert ang buto. Puno ito ng mga buhay na cell at may mga blood vessel na dumadaan dito, kaya ito kumakaduguan kapag nabasag, kaya mahalaga ang sapat na blood supply para sa paggaling, at kaya ang buto, hindi tulad ng may gasgas na mesa, ay kayang ayusin ang sarili.

Paano gumagaling ang basag na buto

Kapag nabasag ang isang buto, ito ay gumagaling sa magkakasunod na yugto na nagbabalik sa puwang bilang matibay na buto.

1. **Ang dugo (unang mga araw).** Ang pagbasag ay sumisira sa mga ugat ng dugo sa loob at paligid ng buto, at nabubuo ang dugo bilang isang clot sa lugar ng fracture. Hindi ito simpleng tapal lamang; ito ang pundasyon at sentro ng signal na tumatawag sa mga cell na mag-aayos. Dito rin nagmumula ang pamamaga, pamumula, at sakit sa lugar sa maagang yugto.
2. **Ang malambot na callus (unang mga linggo).** Ang mga cell na mag-aayos ay pumapasok at naglalagay ng isang malambot, malastik na tulay ng cartilage at hindi pa ganap na matibay na tissue sa buong puwang. Ang buto ay nakakabit na ngayon, ngunit maluwag lamang: dito ang dahilan kung bakit kailangang protektahan ang bagong fracture gamit ang cast, splint, o sa pamamagitan ng operasyon habang mahina pa ang tulay.
3. **Ang matigas na callus (mga linggo hanggang ilang buwan).** Ang malambot na tulay ay unti-unting pinalitan ng matigas, mineralised na buto, na bumubuo ng makapal na cuff (ang callus) sa paligid ng basag. Sa dulo ng yugtong ito, karaniwang sapat na matibay ang buto para sa karaniwang paggamit.
4. **Pag-remodelling (mga buwan hanggang taon).** Ang magaspang na callus ay dahan-dahang tinatabisan at muling hinuhubog ayon sa mga linya ng stress hanggang sa maging katulad ng dating itsura at pagganap ng buto. Sa mga bata, ganito kagaling ang paghuhubog na maaaring tumuwid ang bahagyang nakaliko na basag sa paglipas ng panahon.

Totoong mabagal ang paggaling, at normal ito. Bilang gabay, karamihan sa mga fracture ng mga matatanda ay tumatagal ng humigit-kumulang **anim hanggang labindalawang linggo** bago maging matibay, at mas matagal para mabawi ang buong lakas; ang remodelling na nagpupuno sa hugay ay maaaring tumagal ng isang taon o higit pa. Ang timeline ay nakadepende sa buto, sa tao, at sa sugat, kaya't ituring ang mga ito bilang gabay, hindi pangako.

Ano ang tumutulong sa paggaling nito

May ilang bagay na nagdudulot ng tunay na pagkakaiba, at karamihan ay nasa iyong kontrol:

- **Dugo at pagkakatayo ng basag.** Pinakamabuti ang paggaling ng buto kapag may sapat na daloy ng dugo sa mga dulo ng basag at nakapwesto nang maayos, na layunin ng paglalagay ng cast o operasyon. Ang sobrang galaw o mahinang daloy ng dugo ang karaniwang dahilan kung bakit mabagal ang pagkakaisa ng basag.
- **Hindi pagsigarilyo.** Ang pagsigarilyo at nicotine ay nagpapaliit ng mga ugat ng dugo at makabuluhang nagpapabagal sa paggaling ng buto. Ang paghinto, kahit sa paligid ng panahon ng pinsala o operasyon, ay nakakatulong.
- **Nutrisyon.** Ang buto ay nabubuo mula sa protina at mineral, kaya ang sapat na protina, **calcium**, at **vitamin D** ay sumusuporta sa paggaling. Karamihan sa mga tao ay hindi nangangailangan ng malalaking dosis; kailangan lang nilang hindi kulang sa mga ito.

- **Maayos na paggamit.** Ang buto ay tumutugon sa paggamit. Ang pagsunod sa payo tungkol sa pagdala ng bigat at ehersisyo na ibinigay sa iyo, hindi sobra at hindi kulang, ay nagtuturo sa paggaling na buto na muling magtayo sa tamang mga lugar.
- **Oras at pagsusuri.** Karamihan sa mga basag ay gumagaling sa sarili nitong timeline. Kung may isa na dapat ay umuunlad ngunit hindi, ito ay dapat suriin; may ilang kailangan ng tulong mula sa operasyon.

Mas malalim na pagtalakay

Ang seksyong ito ay nag-aalok ng mas detalyadong paliwanag sa antas ng mag-aaral tungkol sa biyolohiya sa likod ng lahat ng nabanggit sa itaas. Hindi ito kinakailangan upang maunawaan ang isang fracture o ang kanyang paggamot, ngunit kung ikaw ay nakakaaliw sa *paano* talaga gumagana ang buto, at kung paano ang parehong mekanismo na nagpapagaling ng sugat ay maaari ring gamitin laban sa eskeleto, magpatuloy sa pagbabasa.

ANG BUTO BILANG BUHAY NA TISYU

Ang buto ay binubuo at pinapanatili ng tatlong pangunahing uri ng selula, at mahalagang kilalanin sila sa kanilang mga pangalan dahil halos lahat ng susunod na talakayin ay kwento ng balanse sa pagitan nila:

- **Mga osteoblast** ang mga *tagabuo*. Sila ang naglalagay ng bagong buto: una ang malambot na balangkas ng collagen (osteoid), na kanilang pinapakinis o pinapatalo sa pamamagitan ng mineralisasyon upang maging matigas na buto.
- **Mga osteoclast** ang mga *taga-ruina*. Sila ay malalaking selula na may maraming nukleyus na nagdudissolve ng buto, kung saan pinaputol nila ang mineral gamit ang asido at dinidigest ang collagen gamit ang mga enzyme.
- **Mga osteocyte** ang mga dating osteoblast na nahuli sa loob ng buto na kanilang binuo. Sila ay nananatili sa mga maliit na silid na may koneksyon sa pamamagitan ng malawak na network ng mga kanal, na magkakakonekta gaya ng isang sensor grid sa buong buto. Gaya ng ating makikita, sila ang mga selula na *naramdaman* ang mekanikal na karga at nagdirekta sa dalawang iba pang uri ng selula.

Ang matigas na matrix kung saan nabubuhay ang mga selulang ito ay **type I collagen** na pinatitibay ng mga kristal ng **hydroxyapatite** (isang mineral na calcium-phosphate). Ang buto ay may dalawang uri ng arkitektura: makapal na **cortical** (compact) na buto sa mga tangkay ng mahahabang buto, at mababaw na **trabecular** (cancellous) na buto (isang bukas na lattice) sa mga dulo ng mga buto at sa loob ng gulugod.

ANG KASKADA NG PAGGALING

Ang apat na yugto sa wika ng karaniwang tao sa itaas ay tumutugma sa isang tiyak na biological na sunod-sunuran. Ang **haematoma** (dugo na nagkakaroon ng dugo) ng fracture ay naglalabas ng malawak na mga signal ng pamamaga at mga growth factor na humihikayat ng mga stem cells. Ang mga selula ay unang bumubuo ng **malambot (cartilaginous) na callus**: ang buto ay nabubuo sa isang template ng cartilage sa isang proseso na tinatawag na **endochondral ossification**, ang parehong proseso kung saan lumalaki ang karamihan ng eskeleto

noong kabataan. Ang cartilage ay sinasakupan ng mga blood vessel at pinalitan ng woven bone, ang **matigas na callus**, na sa huli ay **nagre-remodel** patungo sa mature, organized na lamellar bone.

Ito ay **sekundaryo (indirektong) paggaling** (paggaling sa pamamagitan ng callus), at ito ang nangyayari kapag may kaunting galaw ang fracture, tulad sa isang cast. Mayroon ding **primaryo (direktong) paggaling**, na nangyayari lamang kapag ang mga dulo ng buto ay mahigpit na pinagkakaisa nang walang puwang at walang galaw (halimbawa, compressed sa ilalim ng metal plate). Sa ganitong kaso, walang callus: ang buto ay simpleng nagre-remodel nang direkta sa tahi. Walang isa sa dalawa ang “mas maganda”; ang dalawa itong sagot ng buto sa iba’t ibang mechanical na kondisyon, kaya nga ang mga surgeon ay pumipili ng fixation na angkop sa fracture.

PAG-RE-MODELLING AT ANG CUTTING CONE

Kahit ang hindi nabasag na buto ay patuloy na binabago: palitan mo ang humigit-kumulang isang kabanata ng iyong eskeleto bawat taon. Ang buong-buhay na pagpapa-usbong na ito ay **pag-re-modelling**, at ito ay isinasagawa ng mga koponan ng mga selula na tinatawag na **Basic Multicellular Units (BMUs)**.

Sa makapal na cortical bone, maaari mong makita ang isang BMU na gumagana bilang isang microscopic na makina sa paggugol. Sa kanyang unang dulo, isang pangkat ng mga osteoclasts ang gumugol ng isang tunnel direkta sa pamamagitan ng buto, pinaglalagyan nito habang sila ay umuunlad: ang resorbing tip na ito ay ang **cutting cone**. Sumusunod nang malapit, sa **closing cone**, ang mga osteoblasts ay naglalagay ng linya sa bagong tunnel at pinupuno ito mula sa mga pader papasok, naglalagay ng concentric na mga singsing ng bagong buto sa paligid ng isang sentral na channel na nagdadala ng isang blood vessel. Ang natapos na cylinder, mga singsing ng buto sa paligid ng isang sentral na canal, ay isang **osteon**, ang pangunahing structural na unit ng compact bone. Kaya ang pag-re-modelling ay hindi random: ito ay isang coordinated na convoy ng demolition na sinundan ng reconstruction, nagtuturo ng bagong, well-aligned na buto sa pamamagitan ng lumang buto.

Ito rin ang dahilan kung bakit ang healthy na buto ay nangangailangan ng *parehong* mga cell type na gumagana nang sabay-sabay. Ang mga osteoclasts na nangunguna sa cutting cone ay ang mga *parehong* cell na, dysregulated, nagpapatakbo ng mga bone-loss na sakit na inilarawan sa ibaba.

ANG SWITCH NG COUPLING: RANK, RANKL AT OPG

Paano kinokontrol ng mga tagatayo ang crew ng paggugulo? Sa pamamagitan ng isang molecular switch na mahalagang kilalanin dahil ito ang lever sa likod ng normal na remodeling at ng ilang sakit (at ilang gamot).

Ang mga cell na nasa osteoblast lineage ay nagpapakita ng signal na tinatawag na **RANKL**. Kapag ang RANKL ay nakakabit sa kanyang receptor, ang **RANK**, sa ibabaw ng mga osteoclast precursor, ipinapaalam nito sa kanila na mature at maging aktibong mga osteoclast na naglulutas ng buto. Kaya ang mga *tagatayo* ang may remote control para sa *crew ng paggugulo*. Upang maglagay ng preno, ang mga *parehong* osteoblasts ay nagsecrete ng isang decoy na tinatawag na **OPG (osteoprotegerin)**, na kumakain ng RANKL bago ito makarating sa RANK. Ang **ratio ng RANKL sa OPG** kaya ang nagtatakda ng bilis ng bone resorption: ang mas maraming RANKL ay nagtutulak sa balance patungo sa pagkawala ng buto, habang ang mas maraming OPG ay patungo sa pagpapanatili ng buto.

Halos lahat ng signal na nakakaapekto sa buto (hormones, inflammation, gamot) sa huli ay humihila sa lever na ito. Ito, halimbawa, eksaktong kung saan gumagana ang gamot para sa osteoporosis na **denosumab**: ito ay isang

ginagawang tao na antibody na gumagana tulad ng OPG, sumisipsip ng RANKL upang patayin ang osteoclasts. Hayaan mong manatili sa switch na ito; ang susunod na dalawang seksyon ay mga kwento tungkol sa RANKL na itinakbo sa maling direksyon.

MECHANOTRANSDUCTION AT BATAS NI WOLFF

Ang buto ay kilala sa kakayahang umangkop sa mga bigat na inilalagay dito. Ang “**Ang buto ay inilalagay kung saan ito kailangan at sinusupil kung saan hindi**” ay ang **Batas ni Wolff**, at ito ang dahilan kung bakit ang braso ng manlalaro ng tennis na nag-iingat ng raket ay may mas makapal na buto, kung bakit nawawalan ng buto ang mga astronaut at mga pasyenteng nakahiga sa kama, at kung bakit ang makatwirang paggamit ng bigat ay tumutulong sa pagpapabuti ng fracture sa tamang mga lugar.

Ang mga cell na nakakaramdam ng bigat ay ang **osteocytes** na nakatago sa loob ng buto. Habang binabagay ang buto sa bigat, ang likido ay pinipilit na lumabas sa mga maliit na kanal sa paligid nila, at nararamdaman ng mga osteocyte ang daloy na iyon, isang proseso na tinatawag na **mechanotransduction** (pagbabago ng mekanikal na signal patungo sa isang biyolohikal na signal). Ang mga osteocyte na may bigat ay nagpapababa ng isang molecule na nagpapahinto na tinatawag na **sclerostin**, na nagpapalaya sa mga osteoblast upang magtayo; ang buto na walang bigat ay gumagawa ng kabaligtaran, at ibinibigay sa pag-susupil. Kaya’t ang “gamitin o mawalan” ay hindi lamang isang slogan; ito ay ang mga osteocyte na nag-aadjust ng balanse ng RANKL/OPG bilang tugon sa ginagawa mo.

KAPAG NAGKABALI ANG PAG-REMODEL: OSTEOLYSIS AT SONIC HEDGEHOG

Ang **osteolysis** ay nangangahulugang simpleng pagdissolve ng buto: ang mga osteoclasts ay tumatakbo nang walang kontrol, karaniwan dahil may nagsasara sa RANKL switch sa posisyong “on”. Ito ang nagpapahintulot sa isang tumor na kumain ng buto, ang nagpapaluwag ng implant (sa susunod na seksyon), at ang nagpapawalang laman ng buto sa ilang mga inflammatory na sakit.

Isa sa mga higit na nakakagulat na tagapangasiwa dito ay ang **sonic hedgehog (Shh)**, isang signalling molecule na pinakakilala sa paghubog ng plano ng katawan ng embryo (tumutulong ito sa paglalagay ng mga limb at digits). Ang parehong pathway ay ginagamit muli sa adult na skeleton, at may dalawang panig ang epekto nito. Sa isang healing fracture, ang Shh signalling ay *tumutulong*; sinusupportahan nito ang mga osteoblasts at pagbuo ng buto. Ngunit sa osteolysis, ginagawa nito ang kabaligtaran: ang Shh, na gumagana sa pamamagitan ng kanyang downstream messenger na **Gli**, ay nagpapatalo sa mga supporting stromal cells na gumawa ng mas maraming RANKL, at ang mas maraming RANKL ay nangangahulugang mas maraming osteoclasts at mas maraming buto ang nadissolve. Mahalaga, ang Shh sa sarili nito ay hindi nagre-resorb ng buto; ito ay gumagana sa pamamagitan ng *pagpapalawak* ng RANKL pathway, na eksaktong dahilan kung bakit ito lumilitaw bilang isang nagpapalala sa mga kondisyon tulad ng cancer-associated bone destruction. Ito ay isang magandang ilustrasyon ng isang temang tumatakbo sa buong pahinang ito: ang karamihan sa bone disease ay ang normal na makinarya ng pag-remodel (ang cutting cone, ang RANKL switch) na itinuon nang sobra sa isang direksyon.

PAGKASIRA NG POLYETHYLENE AT PAGKALUWAG NG IMPLANTO

Dito naging napaka-praktikal ang biyolohiya, dahil ipinapaliwanag nito kung paano sa huli nababigo ang mga palitan ng kasu-kasuan. Ang palitan ng balikat o tuhod ay may makinis na ibabaw ng pag-ikot, na karaniwang isang matigas na bola o bahagi ng metal na gumagalaw laban sa **polyethylene** (plastik na medikal na kalidad) na

CQ HAND + UPPER LIMB

Dr Kieran Hirpara – Specialist Orthopaedic Surgeon
Suite 2, Level 1, Mater Private Hospital Rockhampton, 31 Ward Street, The Range, QLD 4700
Phone 07 4863 6556 · office@cqupperlimb.com.au · cqupperlimb.com.au

liner. Sa loob ng mga taon ng paggamit, ang alitan ay nagpapalabas ng astronomikong maliit na **mga particle ng pagkasira** ng polyethylene, na sobrang layo sa pagtingin at napapalabas sa mga bilyun-bilyon.

Tiningnan ng katawan ang mga particle na ito bilang mga dayuhan. Ang mga scavenger immune cells (**macrophages**) sa paligid ng implanto ay sinusubukang dalhin sila, ngunit ang plastik ay hindi nabubulok, kaya sa halip na magpadala ang mga frustrated macrophages ng mga inflammatory signals. Ang mga signal na ito ay inaasahan na nagpapataas ng RANKL, na nagre-recruit ng mga osteoclasts na nagre-resorb ng buto *sa paligid* ng implanto. Ang **particle-induced (o wear) osteolysis** ay tahimik na kumakain sa bony anchorage, at sa huli ay nagkakaroon ng pagkaluwag ng implanto, na isang pangunahing sanhi ng pagkasira ng mga palitan ng kasu-kasuan at pangangailangan ng revision, madalas ay isang dekada o higit pa pagkatapos ng operasyon. Ito ang parehong huling karaniwang landas ng lahat ng nasa itaas: isang panlabas na trigger, na dinala sa pamamagitan ng RANKL, na nagtatapos sa mga osteoclasts na nagdudissolve ng buto. Ang pag-unawa dito ang eksaktong dahilan kung bakit maraming engineering ang ginagawa para sa mas mahusay na mga bearing materials (tulad ng cross-linked polyethylene) na nagpapalabas ng mas kaunti, mas hindi mapanganib na mga particle.

ANO ANG NAKATULONG AT NAKAKASAMA SA PAGGALING

Sa huli, ang mga praktikal na salik, kasama na ang biyolohiya upang ipaliwanag ang mga ito:

- **Dagdag na dugo** ang nagdadala ng mga selula, oksiheno, at mga senyales na kailangan ng paggaling; ang balat na inalis o nasira, o ang pagkabasag ng buto na mahina ang suplay ng dugo, ay mabagal ang paggaling. Ito ang pinakamalaking salik.
- **Katatagan** ang nagpapahintulot sa callus na maging matatag; ang sobrang galaw ay patuloy na nagbubasag ng mahinang maagang tulay, at ito ay karaniwang daan patungo sa **non-union** (basag na hindi gumagaling).
- **Pagsusuka at nicotine** ang nagpapaliit ng mga ugat ng dugo at nakakasama sa mga selula na nag-aayos: ito ay isang kilalang hadlang sa paggaling ng buto.
- **Diabetes** at ilang **gamot** (matagalang paggamit ng steroids, at ilang anti-inflammatories sa paligid ng panahon ng sariwang basag) ay maaaring magpabagal sa paggaling.
- **Nutrisyon** (sapat na protina, **calcium** at **vitamin D**) ang nagbibigay ng mga materyales; ang kakulangan, hindi ang sobra, ang problema na dapat iwasan.
- **Edad** ang nagpapabagal sa makinarya ng selula, ngunit ang buto ay nananatiling may kahusayan na makagaling sa buong buhay.

Tingnan din

- [Kalusugan ng buto at osteoporosis](#) – kapag ang balanse ng pag-remodel ay lumiko sa pagkawala ng buto sa buong eskeleto
- [Pagsusuka at paggaling ng muskuloskeletal](#) – bakit pinapabagal ng pagsusuka ang paggaling na ito
- [Vitamin D at kalusugan ng muskuloskeletal](#) – ang mineral na bahagi ng pagbuo ng buto