



بینش‌های جدید درباره جهت‌گیری تراپکول‌های سر فمور در سالمندان

گرد آورنده : کیارش خدابخشی

بیو مکانیک سیستم های اسکلتی عضلانی

استاد علی فخاری راد

۱۴۰۴/۰۹/۳۰

فهرست مطالب

۳ چکیده

۴ مقدمه

۵ گروه های
تراپیکولار ها

۶ پیامدهای
آنیزوتروپی

۷ اهداف
مطالعه

۸ روش ها

۹ نتایج

۱۰ کاربرد
های آینده

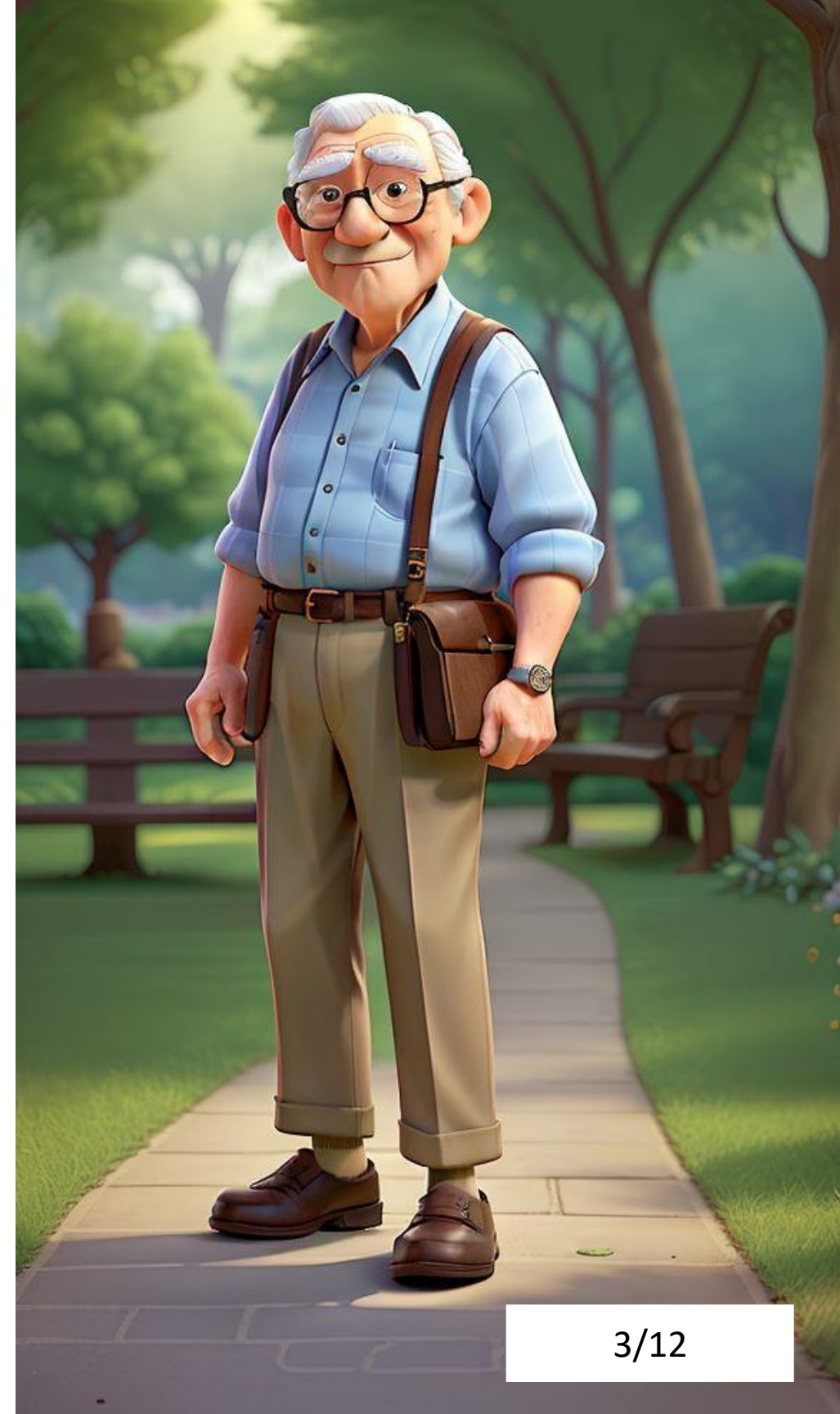
۱۱ منابع
۱۲

چکیده: سازمان‌دهی تراپکولار و خطر شکستگی

تراپکول‌های سر فمور با افزایش سن آنیزوتروپی بیشتری پیدا می‌کنند که خطر شکستگی را در بارهای غیر اصلی افزایش می‌دهد. این مطالعه جهت‌گیری تراپکول‌ها را در ۶۲ فمور سالمند با میکروCT بررسی کرد.

نتایج کلیدی

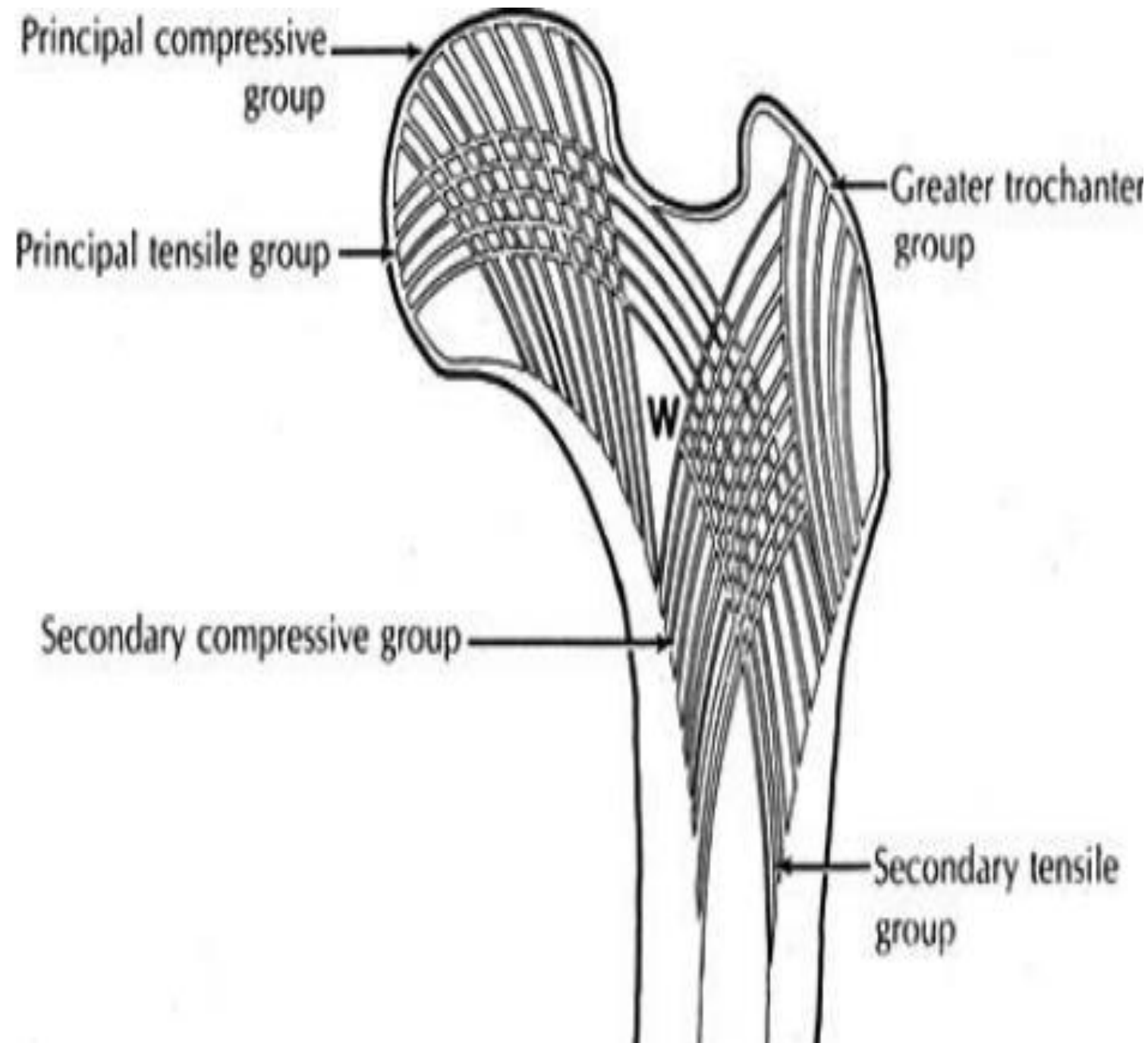
جهت‌گیری مستقل از سمت، جنس و سن بود، اما همبستگی منفی با زاویه گردن-ساق داشت.



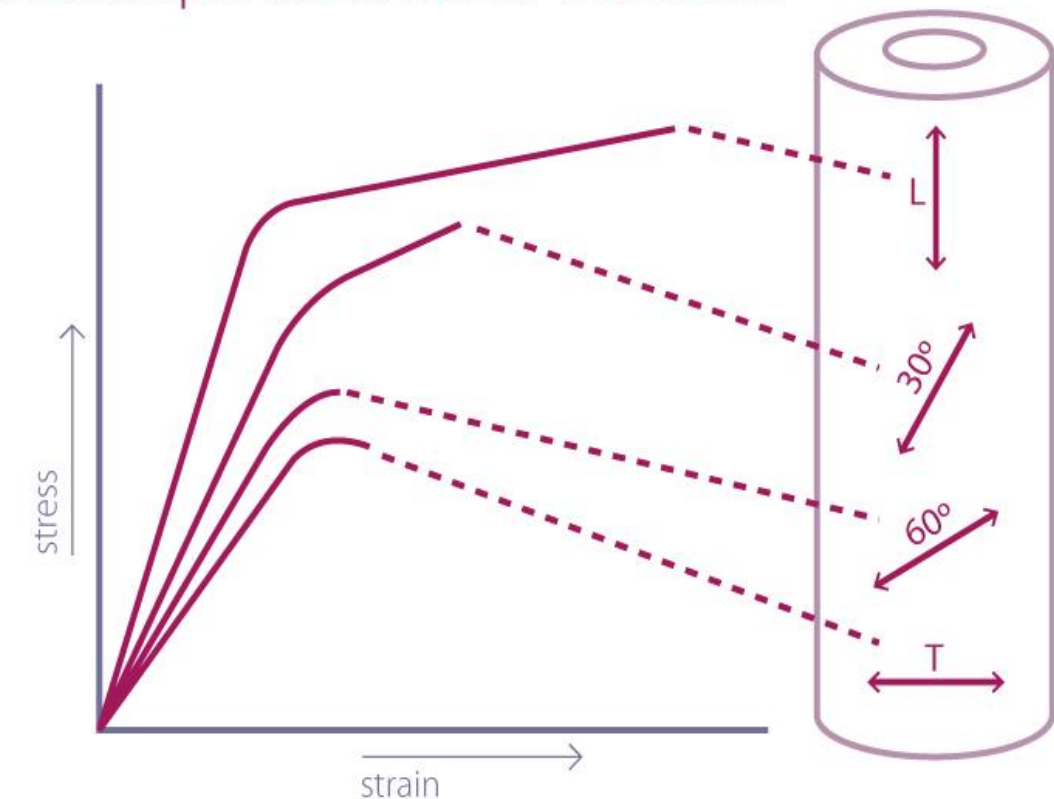
مقدمه: ساختار و عملکرد استخوان

بافت استخوان ساختاری پیچیده و تطبیقی دارد که معماری خود را برای تحمل تنش‌های مکانیکی بهینه می‌کند. این دانش برای ارتوپدی، بیومکانیک و پزشکی قانونی حیاتی است.

استخوان ران مثل یه سازه مهندسیه که جهت‌دار ساخته شده؛ این تحقیق می‌خواد بفهمه این جهت‌داری دقیقاً چطوریه و چرا تو شکستگی مهمه.

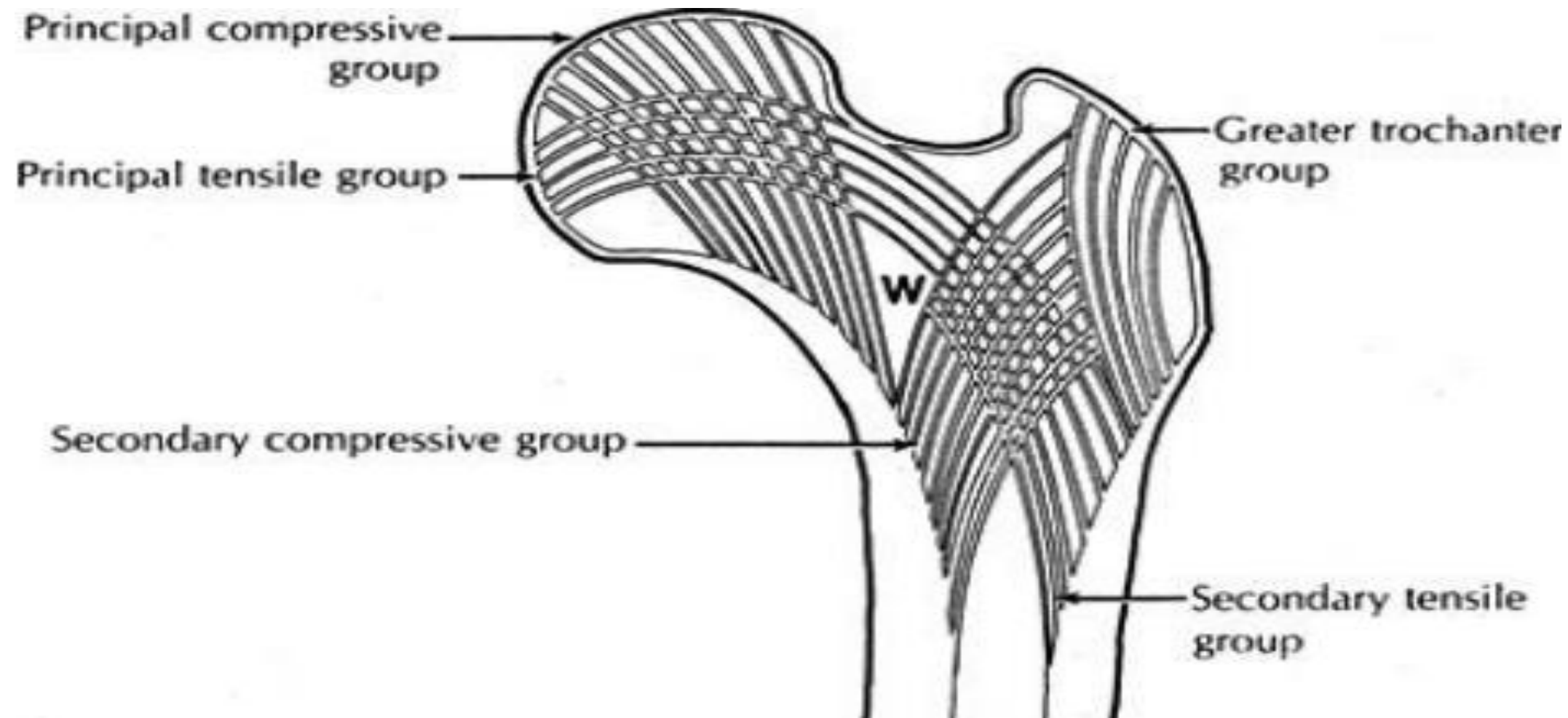


anisotropic behavior of the bone



گروه‌های ترابکولار

Koch پنج گروه ترابکول را در فمور پروگزیمال توصیف کرد. این گروه‌ها آنیزوتروپیک هستند و هر کدام جهت ترجیحی خاصی دارند. گروه کمپرس اصلی در دوران نوزادی شکل گرفته و در پوکی استخوان آخرین گروه باقی‌مانده است.





پیامدهای آنیزوتروپی با افزایش سن

افزایش آسیب پذیری

آنیزوتروپی بیشتر، خطر شکستگی در سقوط را بالا می برد.

مقاومت در برابر ترک

جهت گیری تراپکول ها می تواند پیشرفت شکست را کند کند.





شکاف‌های تحقیقاتی و اهداف مطالعه

1 تعیین جهت‌گیری

بررسی ارتباط با سمت، جنس، سن و زاویه گردن-ساق.

2 الگوی تغییر

آشکارسازی تغییر جهت‌گیری در محور قدامی-خلفی.

3 حساسیت ابزارها

ارزیابی توانایی تصویربرداری پزشکی در شناسایی جهت‌گیری تراپکولار.

روش‌ها: میکرو CT- و تحلیل جهت‌گیری

۶۲ فمور پروگزیمال از ۳۸ جسد سالمند با میکرو CT- اسکن شدند. جهت ترجیحی تراپکول‌ها با پلاگین Directionality در Fiji-ImageJ تحلیل شد.

اسکن با میکرو-CT



موقعیت‌دهی و بازبرش فمور



شبیه سازی به CT-scan پزشکی



تحلیل جهت‌گیری



اندازه‌گیری زاویه گردن - ساق

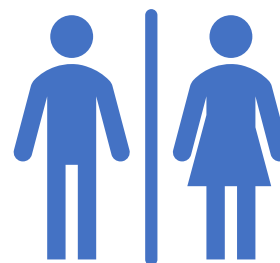




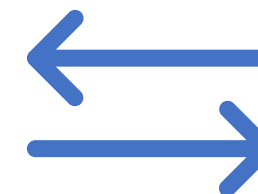
نتایج: جهت‌گیری، سمت، جنس و سن



سن افراد



مردان و زنان



فemor راست و چپ



جهت‌گیری ترابکول‌های سر فمور مستقل از سمت، جنس و سن است جهت‌گیری ترابکول‌های سر فمور تابع هندسه استخوان و مسیر بارگذاری مکانیکی غالب است

کاربردهای آینده

جراحی ارتوپدی

1

بهبود درمان شکستگی لگن و تعیین محل وسایل فیکساسیون.

طراحی ایمپلنت

2

تولید ایمپلنت‌های هم‌راستا با جهت طبیعی تراکتورها.

پزشکی قانونی

3

کاربردهای بالقوه در شناسایی افراد و تحلیل آسیب‌ها.

1. Bartoníček, J. & Naňka, O. Early history of the study of bone growth (1722–1875). Int. Orthop. 48, 1915–1922 (2024).
2. Wang, H. et al. Biomechanical properties and clinical significance of cancellous bone in proximal femur: A review. Injury 54, 1432–1438 (2023).
3. Buckley, R. E., Moran, C., Apivatthakakul, T. & G. & AO Principles of Fracture Management Third Edition (AO Foundation, 2017).
4. Chen, J. H., Liu, C., You, L. & Simmons, C. A. Boning up on Wolff’s law: mechanical regulation of the cells that make and maintain bone. J. Biomech. 43, 108–118 (2010).
5. Ruff, C., Holt, B. & Trinkaus, E. Who’s afraid of the big bad Wolff?? ‘Wolff’s law’ and bone functional adaptation. Am. J. Phys. Anthropol. 129, 484–498 (2006).
6. Weinans, H., Huiskes, R. & Grootenboert, H. J. The behavior of adaptive bone-remodeling simulation models. 25, 1425–1441 (1992).
7. Sugiyama, T., Price, J. S. & Lanyon, L. E. Functional adaptation to mechanical loading in both cortical and cancellous bone is controlled locally and is confined to the loaded bones. Bone 46, 314–321 (2010).
8. Frost, H. M. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff’s law: the bone modeling problem. Anat. Rec. 226, 403–413 (1990).
9. Willie, B. M. et al. Diminished response to in vivo mechanical loading in trabecular and not cortical bone in adulthood of female C57Bl/6 mice coincides with a reduction in deformation to load. Bone 55, 335–346 (2013).
10. Barak, M. M. Cortical and trabecular bone modeling and implications for bone functional adaptation in the mammalian tibia. Bioengineering 11 (2024).
11. Pearson, O. M. & Lieberman, D. E. The aging of Wolff’s ‘law’: ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. Yearb Phys. Anthropol. 47, 63–99 (2004).
12. Carter, M. I. & Hinton, P. S. Physical activity and bone health. Mo Med. 111, 59–64 (2014).
13. Wolff, J. Das gesetz der transformation der Knochen. DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift. 19, 1222–1224 (1892).
14. Koch, J. C. The laws of bone architecture. Am. J. Anat. 21, 177–298 (1917).
15. Rudman, K. E., Aspden, R. M. & Meakin, J. R. Compression or tension? The stress distribution in the proximal femur. Biomed Eng. Online 5 (2006).
16. Enns-Bray, W. S., Owoc, J. S., Nishiyama, K. K. & Boyd, S. K. Mapping anisotropy of the proximal femur for enhanced image based finite element analysis. J. Biomech. 47, 3272–3278 (2014).
17. Wronski, S., Wit, A., Tarasiuk, J. & Lipinski, P. The impact of the parameters of the constitutive model on the distribution of strain in the femoral head. Biomech. Model. Mechanobiol. 22, 739–759 (2023).
18. Osborne, D., Effmann, E., Broda, K. & Harrelson, J. The development of the upper end of the femur, with special reference to its internal architecture. Radiology 137, 71–76 (1980).
19. Ding, K. et al. Age-related changes with the trabecular bone of Ward’s triangle and neck-shaft angle in the proximal femur: a radiographic study. Orthop. Surg. 15, 3279–3287 (2023).
20. Djurić, M., Milovanović, P., Djonić, D., Minić, A. & Hahn, M. Morphological characteristics of the developing proximal femur: A biomechanical perspective. Srp Arh Celok Lek. 140, 738–745 (2012).
21. Singh, M., Nagrath, A. & Maini, P. S. Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. JBJS 52, 457–467 (1970).
22. Tanck, E. et al. Predictive value of femoral head heterogeneity for fracture risk. Bone 44, 590–595 (2009).
23. Cui, W. Q. et al. Age- and region-dependent changes in three-dimensional microstructural properties of proximal femoral trabeculae. Osteoporos. Int. 19, 1579–1587 (2008).
24. Mc Donnell, P., Mc Hugh, P. E. & O’Mahoney, D. Vertebral osteoporosis and trabecular bone quality. Ann. Biomed. Eng. 35, 170–189 (2007).
25. Ciarelli, T. E., Fyhrie, D. P., Schaffler, M. B. & Goldstein, S. A. Variations in three-dimensional cancellous bone architecture of the proximal femur in female hip fractures and in controls. J. Bone Mineral. Res. 15 (2000).
26. Adams, G. J., Cook, R. B., Gibson, M. & Zioupos, P. Predicting the fracture toughness of human cancellous bone in fractured neck of femur patients using bone volume and micro-architecture. Life 14 (2024).
26. Adams, G. J., Cook, R. B., Gibson, M. & Zioupos, P. Predicting the fracture toughness of human cancellous bone in fractured neck of femur patients using bone volume and micro-architecture. Life 14 (2024).
27. Fajar, J. K., Taufan, T., Syarif, M. & Azharuddin, A. Hip geometry and femoral neck fractures: A meta-analysis. J. Orthop. Translat. 13, 1–6 (2018).
28. Freeman, M. A. R. Some anatomical and mechanical considerations relevant to the surface replacement of the femoral head.
29. Chiba, K., Burghardt, A. J., Osaki, M. & Majumdar, S. Heterogeneity of bone microstructure in the femoral head in patients with osteoporosis: an ex vivo HR-pQCT study. Bone 56, 139–146 (2013).
30. Afoke, N., Byers, P. & Hutton, W. Contact pressures in the human hip joint. J. Bone Joint Surg. 69-B, 536–541 (1987).
31. Hoechel, S., Alder, M., Wirz, D. & Müller-Gerbl, M. The human hip joint and its long-term load intake – How X-ray density distribution mirrors bone strength. HIP Int. 23, 583–589 (2013).
32. Georgiou, L., Kivell, T. L., Pahr, D. H., Buck, L. T. & Skinner, M. M. Trabecular architecture of the great ape and human femoral head. J. Anat. 234, 679–693 (2019).
33. Greenwaldt, A. S. & O’connor, J. J. The transmission of load through the human hip joint. J. Biomech. 4, 507–528 (1971).
34. Carter, D. R., Rappoport, D. J., Fyhrie, D. P. & Schurman, D. J. Relation of coxarthrosis to stresses and morphogenesis: A finite element analysis. Acta Orthop. 58, 611–619 (1987).
35. Schmid, B. 3Dscript - Create high-quality 3D/4D animations using a natural-language based syntax. <https://imagej.net/imagej-wiki-static/3Dscript>
36. Meijering, E. TransformJ: An ImageJ plugin suite for geometrical image transformation. <https://imagejscience.org/meijering/softwares/transformj/>
37. Tinevez, J. Y. Directionality. <https://imagej.net/plugins/directionality>
38. Goshtasby, A. A. Similarity and dissimilarity measures. Adv. Pattern Recognit. 7–66. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2458-0_2 (2012).
39. Wang, Q. Dynamic time warping (DTW). https://github.com/wq2012/dynamic_time_warping/releases/tag/v2 (2023).
40. Reznikov, N., Almany-Magal, R., Shahar, R. & Weiner, S. Three-dimensional imaging of collagen fibril organization in rat circumferential lamellar bone using a dual beam electron microscope reveals ordered and disordered sub-lamellar structures. Bone 52, 676–683 (2013).

41. Reznikov, N., Shahar, R. & Weiner, S. Three-dimensional structure of human lamellar bone: the presence of two different materials and new insights into the hierarchical organization. *Bone* 59, 93–104 (2014). 42. Holló, G. Demystification of animal symmetry: Symmetry is a response to mechanical forces. *Biol Direct* 12 (2017). 43. Johnston, I. G. et al. Symmetry and simplicity spontaneously emerge from the algorithmic nature of evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 119 (2022). 44. Young, E. Y., Gebhart, J., Cooperman, D. & Ahn, N. U. Are the left and right proximal femurs symmetric? Basic research. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 471, 1593–1601 (2013). 45. Banse, X., Delloye, C. & Bourgoist, R. Comparative left-right mechanical testing of cancellous bone from normal femoral heads. *J. Biomechanics*. 29, 1247–1253 (1996). 46. Eckhoff, D. G. et al. Bilateral symmetrical comparison of femoral and tibial anatomic features. *J. Arthroplasty*. 31, 1083–1090 (2016).

47. Young, E. Y., Gebhart, J. J., Bajwa, N., Cooperman, D. R. & Ahn, N. U. Femoral head asymmetry and coxa magna: Anatomic study (2013). 48. Bakhshayesh, P., Sandberg, O., Kumar, V., Ali, A. & Enocson, A. Volume fusion of CT images to measure femoral symmetry. *Surg. Radiol. Anat.* 42, 635–639 (2020). 49. Fischer, B. & Mitteroecker, P. Allometry and sexual dimorphism in the human pelvis. *Anat. Rec.* 300, 698–705 (2017). 50. Patriquin, M. L., Steyn, M. & Loth, S. R. Metric analysis of sex differences in South African black and white Pelves. *Forensic Sci. Int.* 147, 119–127 (2005). 51. Nakahara, I. et al. Gender differences in 3D morphology and bony impingement of human hips. *J. Orthop. Res.* 29, 333–339 (2011). 52. Kanz, F., Fitzl, C., Vlcek, A. & Frommlet, F. Sex Estimation using the femur of Austrians born in the 19th to the middle of the 20th century. *Anthropol. Anz.* 72, 117–127 (2015). 53. Eckstein, F. et al. Sex differences of human trabecular bone microstructure in aging are site-dependent. *J. Bone Miner. Res.* 22, 817–824 (2007). 54. Lochmüller, E. M. et al. Site-specific deterioration of trabecular bone architecture in men and women with advancing age. *J. Bone Miner. Res.* 23, 1964–1973 (2008). 55. Galmiche, R., Migaud, H. & Beaulé, P. E. Hip anatomy and biomechanics relevant to hip replacement. in *Personalized Hip and Knee Joint Replacement* (eds Rivière, C. & Vendittoli, P. A.) 9–22 (Springer, 2020). 56. Whitmarsh, T. et al. A cross-sectional study on the age-related cortical and trabecular bone changes at the femoral head in elderly female hip fracture patients. *Sci. Rep.* 9 (2019). 57. Zhang, J. F. et al. The qualitative analysis of trabecular architecture of the proximal femur based on the P45 sectional plastination technique. *J. Anat.* <https://doi.org/10.1111/joa.14210> (2025). 58. Judex, S., Garman, R., Squire, M., Donahue, L. R. & Rubin, C. Genetically based influences on the site-specific regulation of trabecular and cortical bone morphology. *J. Bone Miner. Res.* 19, 600–606 (2004). 59. Bjørnerem, Å. et al. Genetic and environmental variances of bone microarchitecture and bone remodeling markers: A twin study. *J. Bone Miner. Res.* 30, 516–524 (2015). 60. Ho-Pham, L. T., Hans, D., Doan, M. C., Mai, L. D. & Nguyen, T. V. Genetic determinant of trabecular bone score (TBS) and bone mineral density: A bivariate analysis. *Bone* 92, 79–84 (2016). 61. Blau, S. et al. Re-examining so-called ‘secondary identifiers’ in disaster victim identification (DVI): Why and how are they used? *Forensic Sci. Int.* 345 (2023). 62. Hussain, S. et al. Modern diagnostic imaging technique applications and risk factors in the medical field: A review. *BioMed Res. Int.* <https://doi.org/10.1155/2022/5164970> (2022). 63. Pacult, M. A., Walker, C. T., Godzik, J., Turner, J. D. & Uribe, J. S. Emerging Technologies in Spinal Surgery: Ultra-Low Radiation Imaging Platforms. *Operative Neurosurgery* 21, S39–S45. <https://doi.org/10.1093/ons/opaa324> (2021). 64. Wang, T. J. et al. Deep learning reconstruction improves the image quality of low-dose Temporal bone CT with otitis media and mastoiditis patients. *Heliyon* 10 (2024). 65. Clement David-Olawade, A. et al. AI-driven advances in low-dose imaging and enhancement—a review. *Diagnostics* 15. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15060689> (2025). 66. Zaghloul, A. Computing measurements of femoral neck shaft angle in children and adolescents from Nile Delta. *Orthopedics Rheumatol. Open. Access. J.* 17 (2020). 67. Gilligan, I., Chandraphak, S. & Mahakkanukrauh, P. Femoral neck-shaft angle in humans: variation relating to climate, clothing, lifestyle, sex, age and side. *J. Anat.* 223, 133–151 (2013). 68. Kumar, V. & Gajbhiye, V. M. A comparative study of neck shaft angle of femur in Madhya Pradesh. *Int. J. Health Sci. (Qassim)* 1–7. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns2.4983> (2022). 69. Fischer, C. S. et al. The neck–shaft angle: an update on reference values and associated factors. *Acta Orthop.* 91, 53–57 (2020). 70. Mohamad Khan, S. & Shaik, H. S. Study on neck shaft angle and femoral length of South Indian femurs. *Int. J. Anat. Res.* 2, 633–635 (2014). 71. Haddad, B. et al. Femoral neck shaft angle measurement on plain radiography: Is standing or supine radiograph a reliable template for the contralateral femur? *BMC Musculoskelet. Disord* 23 (2022). 72. Clinger, B. N. et al. Differences in CT scan measurements of femoral neck shaft angle and acetabular version among sex, age, and ethnicity from a large cadaveric database. *WJO* 12, 67–71 (2023). 73. Martin, R. B., Burr, D. & Sharkey, N. A. *Skeletal Tissue Mechanics* (Springer, 1998). 74. Neumann, D. A. *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation* (Elsevier, 2018).